

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

П. Ю. Виноградов, О. В. Воробьев, И. В. Копылова,
В. В. Маракулин, Б. Г. Шамсиев

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

СПб ГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018

УДК 621.311.6(076)
ББК 32.88-421я73
Э 45

Рецензент
кандидат технических наук,
доцент кафедры фотоники и линий связи СПбГУТ
Б. К. Никитин

*Рекомендован к печати
редакционно-издательским советом СПбГУТ*

Э 45 Электропитание устройств и систем телекоммуникаций : лабораторный практикум / П. Ю. Виноградов, О. В. Воробьев, И. В. Копылова, В. В. Маракулин, Б. Г. Шамсиев ; отв. редактор Б. Г. Шамсиев ; СПбГУТ. – СПб., 2018. – 44 с.

Составлен в соответствии с программой дисциплины «Электропитание устройств и систем телекоммуникаций». Приведенные лабораторные работы служат развитию навыков по экспериментальному исследованию источников вторичного электропитания.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.04.02, 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

**УДК 621.311.6(076)
ББК 32.88-421я73**

- © Виноградов П. Ю., Воробьев О. В., Копылова И. В., Маракулин В. В., Шамсиев Б. Г., 2018
- © Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХТАКТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ	5
Лабораторная работа 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХТАКТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ	12
Лабораторная работа 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	19
Лабораторная работа 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	28
Лабораторная работа 5 ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	34
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	43

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по курсу ЭУСТ проводятся в целях закрепления знаний студентов по качественному и количественному анализу рабочих характеристик силовой электропреобразовательной техники, практического освоения ими методик расчетного и экспериментального определения показателей качества этих устройств.

Учитывая необходимость подготовки студентов в области использования вычислительной техники в течение всего периода обучения, а также потребность в активизации их самостоятельной творческой деятельности, поощряется использование персональных компьютеров для проведения расчетов, построения требуемых характеристик и оформления отчетов по лабораторным работам для защиты в рамках семинарских занятий.

При проведении всех лабораторных работ учебная группа делится на отдельные бригады, состоящие из 2–3 студентов.

Работа выполняется и оформляется каждым студентом самостоятельно.

Для обеспечения эффективного использования времени, отведенного на занятия, а также активного участия в проведении расчетных и экспериментальных исследований, все студенты учебной группы должны добросовестно готовиться к очередной лабораторной работе.

Эта подготовка включает:

- ознакомление с методическими указаниями по каждой работе;
- закрепление знания основных положений и закономерностей, позволяющих на уровне понимания выполнять расчетное и экспериментальное определение рабочих характеристик исследуемого устройства;
- приготовление в рабочей тетради требуемых для оформления отчета табличных форм, приведенных в практикуме, а также функциональной схемы исследуемого устройства с указанием способов подключения к схеме используемых измерительных приборов;
- выполнение самостоятельных расчетов, входящих в содержание очередной лабораторной работы.

Завершается лабораторная работа собеседованием (семинарским занятием), на котором обсуждаются полученные результаты. Собеседование проводится в виде постановки общих и частных вопросов преподавателем и получении на них ответов от студентов в инициативном или обязательном порядке. Студентам, активно участвующим в собеседовании и имеющим правильно оформленные в рабочих тетрадях отчеты по выполненной лабораторной работе, ставится зачет.

Студенты, не получившие зачет по данной лабораторной работе, должны явиться на дополнительное индивидуальное собеседование к преподавателю до начала защиты очередной лабораторной работы.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХТАКТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Закрепить знания по принципу действия и рабочим свойствам трехфазного двухтактного выпрямителя.

Практически освоить методику экспериментального определения внешних характеристик трехфазного двухтактного выпрямителя, коэффициента пульсаций выходного напряжения выпрямителя ($K_{\text{п}}$) и зависимости $K_{\text{сп}} = f(I_{0\text{н}})$ для индуктивного сглаживающего фильтра.

Программа работы

1. Экспериментально определить внешние характеристики трехфазного двухтактного выпрямителя, коэффициент пульсаций выходного напряжения выпрямителя без фильтра ($K_{\text{п}}$), коэффициент сглаживания пульсаций ($K_{\text{сп}}$) для L - и LC -фильтров.

2. Снять осциллограммы напряжений и токов.

3. На основании экспериментальных данных построить на одном графике внешние характеристики трехфазного двухтактного выпрямителя $U_{0\text{н}} = f(I_{0\text{н}})$ без фильтра, с L -фильтром, с LC -фильтром.

4. На основании экспериментальных данных построить на графике зависимость $K_{\text{сп}} = f(I_{0\text{н}})$ для индуктивного сглаживающего фильтра.

Экспериментальное исследование трехфазного двухтактного выпрямителя

Экспериментальное исследование трехфазного двухтактного выпрямителя проводится на учебной лабораторной установке «Электропитание устройств связи», использующей сменный блок «Исследование схем выпрямителей».

Сменный блок «Исследование схем выпрямителей» включает четыре вентильные группы по три диода в каждой VD1–VD12 (две группы диодов с общим анодом, две группы – с общим катодом), четыре одиночных диода VD13–VD16, конденсаторы C1–C4, два управляемых вентиля VS1–VS2 со схемой управления и резистор $R_{\text{ш}} = 1$ Ом. Для данной лабораторной работы используются диоды VD1–VD3 в качестве анодной группы и диоды VD7–VD9 в качестве катодной группы.

Нагрузкой выпрямителя является переменный резистор блока нагрузок (правая панель лабораторной установки). Регулирование тока, протекающего через нагрузку, производится ручками « R_H грубо» и « R_H точно». Примерные пределы изменения R_H : от 1300 Ом в положении 1 переключателя « R_H грубо» до 17 Ом в положении 11. В положении «Х.Х.» $R_H = \infty$.

Напряжения и токи в различных точках изучаемой схемы выпрямителя контролируются с помощью вольтметра PV1 и миллиамперметра PA1 лабораторной установки (рис. 1.1). Вольтметр PV1 и миллиамперметр PA1 позволяют измерять как постоянную, так и переменную составляющие напряжения или тока. Сопротивление шунта миллиамперметра составляет 1 Ом.

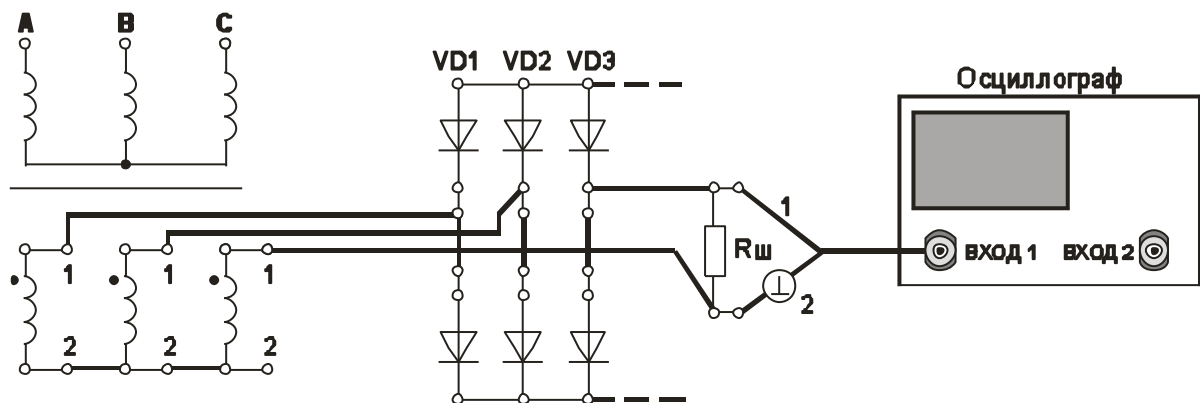


Рис. 1.1. Осциллографирование тока вторичной обмотки трансформатора

Напряжение на нагрузке и ток, протекающий через нее, контролируются вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2. Вольтметр PV2 позволяет измерять как постоянную, так и переменную составляющие напряжения.

Таблица 1.1

Режимы работы измерительных приборов установки

Измерительный прибор	Режим измерения	Предел измерения
PV1	~	200 V
	=	200 V
PA1	~	2000 mA
	=	2000 mA
PV2	~	20 V
	=	200 V
PA2	=	2000 mA

Проведение осциллографирования

Для наблюдения формы напряжений имеются гнезда в точках подключения вольтметров или непосредственно на элементах схемы выпрямителя. Для наблюдения формы токов необходимо в разрыв исследуемой

цепи включить резистор $R_{ш} = 1 \text{ Ом}$, вход осциллографа подключить к резистору $R_{ш}$ (форма напряжения на нем будет соответствовать форме протекающего в цепи тока, а отсчет величины напряжения, произведенный с помощью осциллографа, будет пропорционален величине протекающего тока). Пример осциллографирования тока вторичной обмотки трансформатора приведен на рис. 1.1.

Осциллографирование исследуемых напряжений и токов должно осуществляться при таких положениях переключателей «V/дел» и «x1, x10», чтобы размер изображения по вертикали составлял больше половины шкалы экрана. При проведении измерений необходимо переменный резистор плавной регулировки усиления канала «Y» повернуть по часовой стрелке до фиксации.

Длительность развертки должна находиться в пределах 2–5 ms/дел. При этом на экране осциллографа будет наблюдаться один или два с половиной периода напряжения.

Рекомендуется использовать режим синхронизации горизонтальной развертки осциллографа «ОТ СЕТИ».

Схема макета для исследований приведена на рис. 1.2. Эта схема собирается студентами и предьявляется преподавателю.

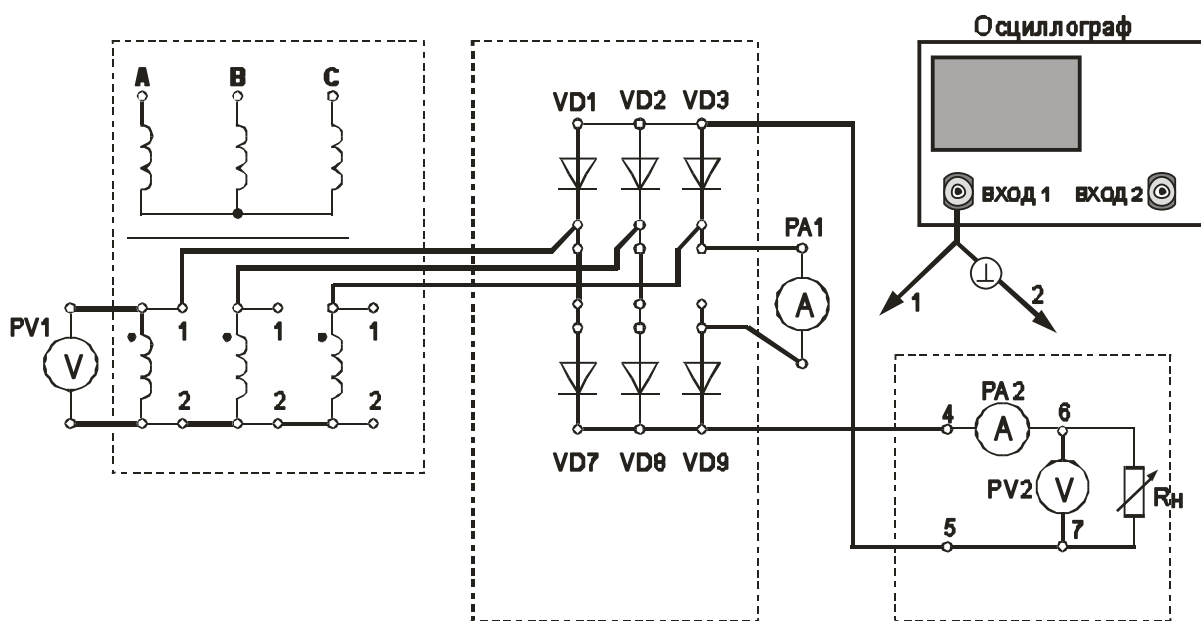


Рис. 1.2. Схема макета для исследований трехфазного двухтактного выпрямителя

Переключатель « R_n грубо» установить в положение «1».

Вольтметр PV1 установить в режим измерения переменного напряжения.

Вольтметр PV2 установить в режим измерения постоянного напряжения.

Миллиамперметр PA1 установить в режим измерения постоянного тока.

Включить питание установки выключателем «СЕТЬ – ВКЛ».

Нажатием кнопки «ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ – ВКЛ» включить питание схемы.

Фильтр на левой стационарной панели (точки 1, 2, 3) подключается между выходом диодного блока (токи 3, 9) и нагрузкой (точки 4, 5).

Необходимо помнить, что точка 3 должна быть соединена с точкой 2 фильтра. Соответственно точка 9 диодного блока, имеющая положительное напряжение, должна быть соединена с точкой 1 фильтра.

Подключение отдельных элементов фильтра производится соответствующими тумблерами S1, S2, S3 и S4, назначение которых ясно из схемы. В положении «вверх» тумблер замкнут, в положении «вниз» – разомкнут.

В данной лабораторной работе используется индуктивный и индуктивно-емкостной фильтры. Элементы R и C1 всегда отключены, соответственно тумблер S2 замкнут («вверх») – шунтирует сопротивление R, тумблер S3 разомкнут («вниз») – разрывает цепь конденсатора C1.

Снятие внешних характеристик выпрямителя

Для снятия внешних характеристик выпрямителя необходимо постепенно увеличивать ток через R_n , уменьшая его сопротивление. Для этого регулятор « R_n грубо» переключать от положения «X.X.» до положения 11. Изменяя величину сопротивления нагрузки, устанавливаются по прибору РА2 значения тока I_n : 300, 200, 100, 50 и 0 мА, фиксируя каждый раз среднее значение выпрямленного напряжения $U_{0н}$. Показания снимают вольтметром PV2 в режиме измерения постоянного напряжения (=).

Затем повторяют измерения для работы выпрямителя с индуктивным фильтром, а также с Г-образным фильтром LC. При положении тумблера S1 «вверх» катушка индуктивности L отключена (зашунтирована), при положении «вниз» – подключена. Для подключения конденсатора C2 необходимо замкнуть тумблер S4 («вверх»), для отключения – разомкнуть. Данные измерения занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Данные определения зависимости $U_{0н} = f(I_{0н})$

I_n, mA	$U_{0н}, \text{В}$		
	без фильтра	с L-фильтром	с LC-фильтром
300			
200			
100			
50			
0			

Экспериментальное определение коэффициента пульсаций напряжения выпрямителя без фильтра

Коэффициент пульсаций по 1-й гармонике определяется как отношение амплитуды 1-й гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению (постоянной составляющей):

$$K_{п1} = \frac{U_{\max 1}}{U_{0н}}. \quad (1.1)$$

Среднее значение выпрямленного напряжения $U_{0н}$ измеряется вольтметром PV 2.

Амплитуду 1-й гармоники $U_{\max 1}$ можно определить с помощью осциллографа по формуле

$$U_{\max 1} = \alpha_1 \cdot U_{\sim \max}, \quad (1.2)$$

где $U_{\sim \max}$ – максимальное значение переменной составляющей (рис. 1.3);

α_1 – коэффициент первой гармоники, получаемый при разложении выпрямленного напряжения в ряд Фурье, $\alpha_1 = 0,404$ при числе пульсаций за один период $m_n = 6$.

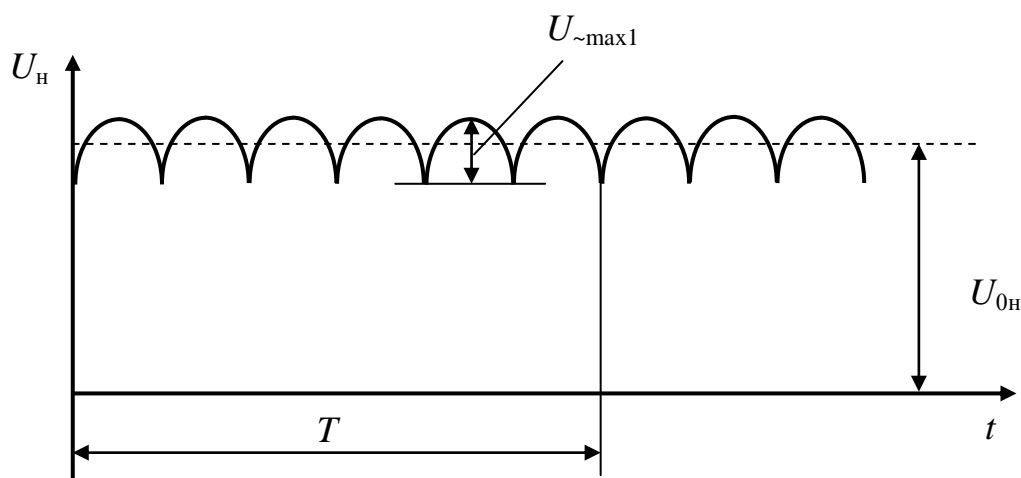


Рис. 1.3. Напряжение на выходе выпрямителя

При наличии фильтра в цепи нагрузки остаются практически колебания только 1-й гармоники. Используя вольтметр PV2, можно измерить действующее значение 1-й гармоники U_1 и определить ее амплитуду $U_{\max 1}$ по формуле

$$U_{\max 1} = \sqrt{2} \cdot U_1, \quad (1.3)$$

где U_1 – действующее значение 1-й гармоники выпрямленного напряжения (показания вольтметром PV2 в положении «~»).

Для определения коэффициента пульсаций напряжения выпрямителя без фильтра необходимо:

- отключить сглаживающий фильтр;
- установить ток нагрузки $I_{0н} = 300 \text{ mA}$ (при работе выпрямителя без фильтра);
- измерить вольтметром PV2 среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке $U_{0н}$;
- определить максимальное значение переменной составляющей выпрямленного напряжения, для этого следует:
 - осциллографом*
измерить (в точках 6, 7) максимальное значение переменной составляющей $U_{\sim\text{max}}$;
 - определить значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения по формулам (1.2) и (1.1);
 - вольтметром PV2*
измерить (в точках 6, 7) действующее значение переменной составляющей U_1 выпрямленного напряжения;
 - определить значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения по формулам (1.1) и (1.3).

Экспериментальное определение коэффициентов сглаживания пульсаций фильтров L и LC

Коэффициент сглаживания пульсаций определяется по формуле

$$K_{сп} = \frac{K_{п1}}{K_{п1н}}, \quad (1.4)$$

где $K_{п1}$ – коэффициент пульсаций по 1-й гармонике выпрямленного напряжения без фильтра (на входе фильтра);

$K_{п1н}$ – коэффициент пульсаций по 1-й гармонике выпрямленного напряжения после фильтра (на нагрузке).

Для определения коэффициента сглаживания пульсаций необходимо:

- включить индуктивный сглаживающий фильтр;
- установить ток нагрузки $I_n = 300 \text{ mA}$;
- вольтметром PV2*
определить (в точках 6, 7) амплитуду 1-й гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{м1}$ на нагрузке;
- измерить среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке $U_{0н}$;

- определить коэффициент сглаживания пульсаций индуктивного фильтра, используя формулы (1.1) и (1.4);
- повторить эксперимент для токов $I_H = 200 \text{ mA}$ и $I_H = 100 \text{ mA}$;
- включить LC-фильтр и определить $K_{СП}$ при токе $I_H = 300 \text{ mA}$; данные измерений и вычислений занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Данные определения $K_{СП}$ фильтров L и LC

Фильтр	I_H , mA	Измерено		Вычислено	
		U_{0H} , В	U_{M1} , В	$K_{П1H}$	$K_{СП}$
L	300				
	200				
	100				
	50				
LC	300				

Снятие осциллограмм напряжений и токов

Отключить сглаживающий фильтр. Установить ток $I_H = 100 \text{ mA}$.

Зарисовать с экрана осциллографа кривые изменения (за 2–3 периода):

напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 ;

напряжения на нагрузке U_H ;

напряжения на диоде U_D ;

тока вторичной обмотки трансформатора i_2 .

Включить индуктивный фильтр, установить ток нагрузки $I_H = 100 \text{ mA}$ и снова зарисовать кривые изменения, указанные выше.

Обобщить результаты осциллографирования в виде временных диаграмм. Осциллограммы должны иметь одинаковый масштаб по оси времени.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ

ОДНОФАЗНОГО ДВУХТАКТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Закрепить знания по принципу действия и рабочим свойствам однофазного двухтактного выпрямителя.

Практически освоить методику экспериментального определения характеристик и основных параметров однофазного двухтактного выпрямителя.

Программа работы

1. Экспериментально определить внешние характеристики однофазного двухтактного выпрямителя $U_{0н} = f(I_{0н})$, коэффициент пульсаций напряжения выпрямителя без фильтра $K_{п}$, коэффициент сглаживания пульсаций $K_{сг}$ C -фильтра, L -фильтра, LC -фильтра и CLC -фильтра.

2. Снять осциллограммы напряжений и токов.

3. На основании экспериментальных данных построить на одном графике внешние характеристики однофазного двухтактного выпрямителя $U_{0н} = f(I_{0н})$.

4. Для всех внешних характеристик определить процентное изменение напряжения $\Delta U_{вых}$, %.

5. На основании экспериментальных данных построить на графике зависимость $K_{сг} = f(I_{0н})$ для емкостного и для индуктивного сглаживающих фильтров.

Экспериментальное исследование

однофазного двухтактного выпрямителя

Экспериментальное исследование однофазного двухтактного выпрямителя проводится на учебной лабораторной установке «Электропитание устройств связи» с использованием сменного блока «Исследование схем выпрямителей».

Схема исследования макета приведена на рис. 2.1. Схема собирается студентами и предъявляется преподавателю.

Для построения схемы выпрямления (диодного моста) используются диоды VD1, VD2 и VD7, VD8, расположенные на центральной панели лабораторной установки.

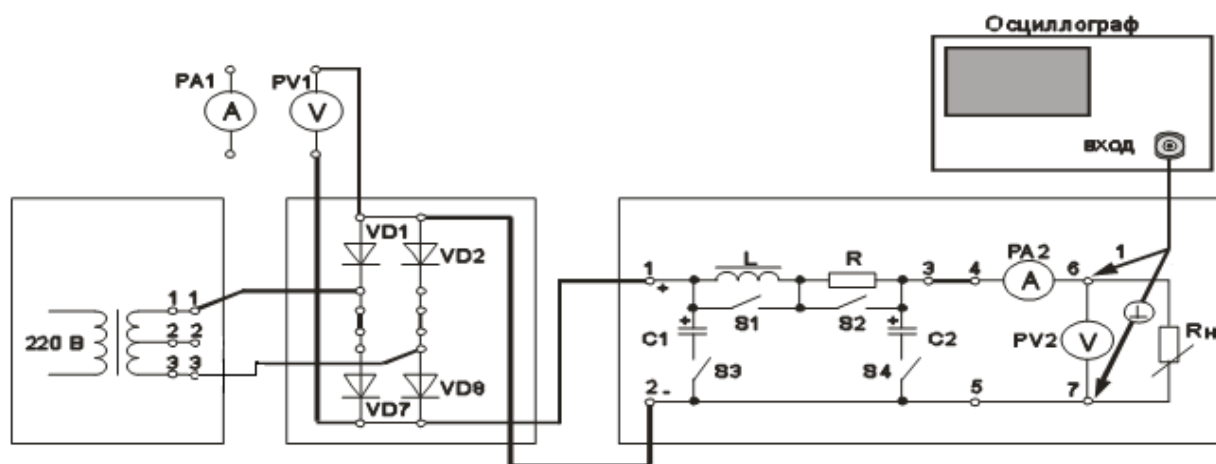


Рис. 2.1. Однофазная двухтактная схема выпрямления со сглаживающим фильтром

Напряжение на схему выпрямления подается от однофазной сети, расположенной на левой панели лабораторной установки. Поэтому вход диодного моста необходимо соединить с гнездами 1 и 3 вторичной обмотки однофазного трансформатора. Для возможности контролирования тока обмотки используется резистор $R_{ш} = 1$ Ом, который следует подключить между вторичной обмоткой трансформатора (гнездо 1) и анодом диода VD7.

Напряжение с выхода схемы выпрямления следует подавать на гнезда 1 и 2 правой панели лабораторной установки, на которой расположены сглаживающие фильтры и активная нагрузка.

Подключение отдельных элементов сглаживающих фильтров схемы производится соответствующими тумблерами S1...S4, назначение которых ясно из схемы. *Верхнее положение рычага каждого тумблера соответствует замкнутому состоянию его контактов.*

Для подключения активной нагрузки между гнездами 3 и 4 блока нагрузок необходимо установить переключку. В качестве нагрузки выпрямителя используется переменный резистор блока нагрузок. Регулирование тока, протекающего через нагрузку, производится ручками « R_n грубо» и « R_n точно».

Измерения осуществляются с помощью приборов, находящихся в верхнем ряду левой и правой панелей лабораторной установки, а также осциллографом и *вольтметром В7-27.*

Напряжения и токи в различных точках схемы выпрямления можно контролировать с помощью вольтметра PV1 и миллиамперметра PA1, которые позволяют измерять постоянную и переменную составляющие напряжений и токов.

Для подключения миллиамперметра используется сопротивление шунта $R_{ш} = 1 \text{ Ом}$. Для наблюдения формы токов (например, тока вторичной обмотки трансформатора i_2) вход осциллографа также подключается к резистору $R_{ш}$.

Напряжение на резисторе нагрузки и ток, протекающий через резистор, измеряются вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2. Вольтметр PV2 позволяет измерять как постоянную, так и переменную составляющие напряжения. Величину переменной составляющей напряжения на резисторе нагрузки также можно измерить вольтметром В7-27.

Снятие внешних характеристик выпрямителя

Для снятия внешних характеристик выпрямителя необходимо:
 вольтметр PV1 установить в режим измерения переменного напряжения;
 вольтметр PV2 установить в режим измерения постоянного напряжения;
 отключить сглаживающий фильтр (тумблеры S1, S2 замкнуты, S3 и S4 – разомкнуты);

включить питание установки выключателем «СЕТЬ – ВКЛ»;
 нажатием кнопки «ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ – ВКЛ» включить питание схемы;

изменяя величину сопротивления нагрузки, ручками « $R_{н}$ грубо» и « $R_{н}$ точно» установить на миллиамперметре PA2 значения тока $I_{н}$: 200, 150, 100, 50 и 0 мА, фиксируя каждый раз вольтметром PV2 среднее значение выпрямленного напряжения $U_{0н}$;

повторить измерения для работы выпрямителя с индуктивным фильтром (подключив L тумблером S1), а также с Г-образным фильтром LC (используя тумблеры S1 и S4);

данные измерения занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные определения зависимости $U_{0н} = f(I_{0н})$

$I_{н}, \text{ мА}$	$U_{0н}, \text{ В}$		
	без фильтра	с L -фильтром	с LC -фильтром
200			
150			
100			
50			
0			

По данным табл. 2.1 построить внешние характеристики однофазного двухтактного выпрямителя $U_{0н} = f(I_{0н})$.

Важным параметром выпрямительного устройства является процентное изменение напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$, %:

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{0\text{x.x}} - U_{0\text{н}}}{U_{0\text{x.x}}}, \quad (2.1)$$

где $U_{0\text{x.x}}$ – среднее значение выпрямленного напряжения при разомкнутой цепи нагрузки (холостой ход);

$U_{0\text{н}}$ – среднее значение выпрямленного напряжения при номинальном токе нагрузки.

Для всех внешних характеристик определить процентное изменение напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$, %, по формуле (2.1).

Экспериментальное определение коэффициента пульсаций напряжения выпрямителя без фильтра

Коэффициент пульсаций по 1-й гармонике определяется как отношение амплитуды 1-й гармонике выпрямленного напряжения к его среднему значению (постоянной составляющей)

$$K_{\text{п1}} = \frac{U_{\text{max1}}}{U_{0\text{н}}}. \quad (2.2)$$

Среднее значение выпрямленного напряжения $U_{0\text{н}}$ измеряется вольтметром PV2 (показания вольтметра PV2 в режиме «=»).

Амплитуду 1-й гармонике U_{max1} можно определить с помощью осциллографа по формуле

$$U_{\text{max1}} = \alpha_1 \cdot U_{\sim\text{max}}, \quad (2.3)$$

где $U_{\sim\text{max}}$ – максимальное значение переменной составляющей;

α_1 – коэффициент первой гармонике, получаемый при разложении выпрямленного напряжения в ряд Фурье; $\alpha_1 = 0,426$ при числе пульсаций за один период $m_n = 2$.

При наличии соответствующего фильтра в цепи измерений, пропускающего только колебания 1-й гармонике, используя показания вольтметра В7-27 или вольтметра PV2 в режиме «~», можно измерить действующее значение 1-й гармонике U_1 и определить ее амплитуду U_{max1} по формуле

$$U_{\text{max1}} = \sqrt{2} \cdot U_1, \quad (2.4)$$

где U_1 – действующее значение 1-й гармонике выпрямленного напряжения (показания вольтметра PV2 в режиме «~»).

Для определения коэффициента пульсаций напряжения выпрямителя без фильтра необходимо:

вольтметр PV2 установить в режим измерения постоянного напряжения; отключить сглаживающий фильтр;

установить ток нагрузки $I_{0н} = 200 \text{ mA}$ (при работе выпрямителя без фильтра);

измерить вольтметром PV2 среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке $U_{0н}$;

определить максимальное значение переменной составляющей выпрямленного напряжения, для этого следует:

осциллографом

измерить (в гнездах 6, 7) максимальное значение переменной составляющей $U_{\sim\text{max}}$ (рис. 2.1);

определить значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения по (2.3) и (2.2);

вольтметром

измерить В7-27 или вольтметром PV2 (в гнездах 6, 7) действующее значение переменной составляющей U_1 выпрямленного напряжения, установив для этого вольтметр в режим измерения переменного напряжения;

определить значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения по (2.4) и (2.2).

Экспериментальное определение коэффициентов сглаживания пульсаций фильтров C , L , LC и CLC

Коэффициент сглаживания пульсаций определяется по формуле

$$K_{сп} = \frac{K_{п1}}{K_{п1н}}, \quad (2.5)$$

где $K_{п1}$ – коэффициент пульсаций по 1-й гармонике выпрямленного напряжения без фильтра (на входе фильтра);

$K_{п1н}$ – коэффициент пульсаций по 1-й гармонике выпрямленного напряжения после фильтра (на нагрузке).

Для определения коэффициента сглаживания пульсаций необходимо:

включить емкостной сглаживающий фильтр $C1$, (замкнуть тумблеры $S1, S2, S3$ и разомкнуть тумблер $S4$);

установить ток нагрузки $I_n = 200 \text{ mA}$;

измерить, используя вольтметр В7-27 или вольтметр PV2 (в гнездах 6, 7), действующее значение переменной составляющей U_1 выпрямленного напряжения и определить амплитуду 1-й гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{\text{max}1}$ на нагрузке;

измерить вольтметром PV2 среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке $U_{0н}$;

определить коэффициент сглаживания пульсаций емкостного фильтра, используя (2.2) и (2.5);

повторить эксперимент для токов $I_H = 100 \text{ mA}$ и $I_H = 50 \text{ mA}$;

включить индуктивный сглаживающий фильтр L (замкнуть тумблер S2 и разомкнуть тумблеры S1, S3 и S4);

определить коэффициент сглаживания пульсаций $K_{сп}$ индуктивного фильтра при токе $I_H = 200 \text{ mA}$;

повторить эксперимент для токов $I_H = 100 \text{ mA}$ и $I_H = 50 \text{ mA}$;

включить LC -фильтр (разомкнуть тумблеры S1, S3 и замкнуть тумблеры S2, S4) и определить $K_{сп}$ при токе $I_H = 200 \text{ mA}$;

включить CLC -фильтр (используя тумблеры S1...S4) и определить $K_{сп}$ при токе $I_H = 200 \text{ mA}$;

данные измерений и вычислений занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Данные определения коэффициента сглаживания пульсаций фильтров C , L , LC и CLC

Фильтр	I_H , mA	Измерено		Вычислено	
		$U_{0н}$, В	U_{max1} , В	$K_{п1н}$	$K_{сп}$
C	200				
	100				
	50				
L	200				
	100				
	50				
LC	200				
CLC	200				

Снятие осциллограмм напряжений и токов

Отключить сглаживающий фильтр. Установить ток $I_H = 200 \text{ mA}$.

Зарисовать с экрана осциллографа кривые изменения (за 2–3 периода):

- напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 ;
- напряжения на нагрузке U_H ;
- напряжения на диоде $U_{вен}$;
- тока вторичной обмотки трансформатора i_2 .

Зарисовать указанные выше кривые изменения для тока $I_H = 200 \text{ mA}$ при подключении индуктивного фильтра L , емкостного фильтра $C1$, а затем при подключении LC -фильтра.

Обобщить результаты осциллографирования в виде временных диаграмм. Осциллограммы должны иметь одинаковый масштаб по оси времени.

После завершения работы:

выключить питание схемы нажатием кнопки «ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ – ВЫКЛ»;

выключить электропитание установки.

Лабораторная работа 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Изучить принцип работы импульсного преобразователя постоянного напряжения (ППН).

Основные вопросы дисциплины, изучаемые перед выполнением работы

1. Принципы преобразования электрической энергии. Классификация преобразователей.
2. Требования к ключам, применяемым в ППН.
3. Рабочие процессы в инверторах постоянного напряжения.

Содержание работы

Изучение принципа работы и определение основных характеристик и параметров импульсного ППН.

Описание лабораторного макета

Сменный блок «Преобразователь постоянного напряжения» (рис. 3.1) включает:

- регулируемый источник постоянного напряжения;
- маломощный формирователь управляющих импульсов;
- импульсный усилитель мощности;
- два выпрямителя с емкостными сглаживающими фильтрами;
- цепь отрицательной обратной связи;
- схему защиты от перегрузки со звуковой и световой сигнализациями.

Питание схемы ППН осуществляется от встроенного в сменный блок источника постоянного напряжения. Выходное напряжение источника стабилизировано и регулируется в пределах от 7 до 16 В. Источник защищен от кратковременной перегрузки. При перегрузке источника подается звуковой сигнал и мигает светодиод «Перегрузка».

Формирователь управляющих импульсов состоит из генератора пилообразного напряжения, компаратора и формирователя импульсов. Длительность импульсов управления зависит от напряжения на правом входе компаратора (КТ2).

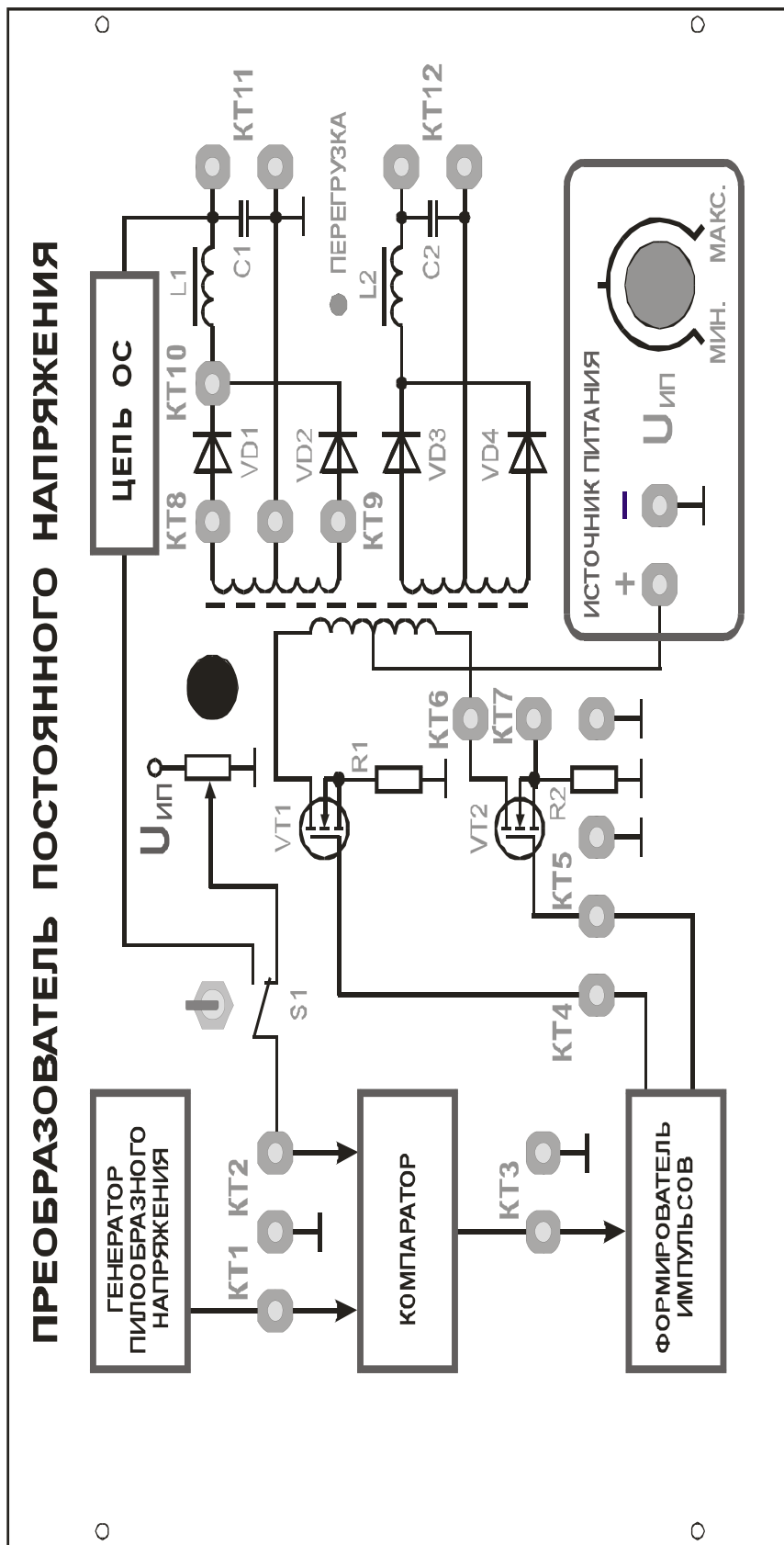


Рис. 3.1. Внешний вид сменного блока «Преобразователь постоянного напряжения»

Тумблер S1 установлен на центральной панели лабораторной установки.

В нижнем положении тумблера S1 на указанный вход подается напряжение с переменного резистора «РЕГ.ВЫХ.», который позволяет регулировать вручную напряжение на выходах ППН.

В верхнем положении S1 вход компаратора подключен к цепи обратной связи. В этом режиме напряжение на выходе ППН автоматически поддерживается постоянным, не регулируется и мало зависит от напряжения питания и сопротивления нагрузки.

Частота следования управляющих импульсов 25–35 кГц.

Усилитель мощности собран по двухтактной схеме со средней точкой первичной обмотки трансформатора.

В цепи истока ключевого транзистора VT2 установлен резистор R2 для осциллографирования формы протекающего через транзистор тока. Резистор R1 обеспечивает симметрию схемы.

ППН имеет два выхода.

Выход 1 (КТ11) – низкоомный, гальванически связанный с общим проводом «⊥». В режиме ручной регулировки напряжение на выходе изменяется в пределах 1,5–8,0 В.

В режиме автоматической регулировки напряжение на выходе поддерживается примерно постоянным в пределах 3,8–4,2 В.

Выход 2 (КТ12) – высокоомный, не связанный гальванически с общим проводом «⊥». Напряжение на выходе в значительной степени зависит от сопротивления нагрузки. При $R_H = \infty$ в режиме ручной регулировки напряжение на выходе изменяется в пределах 7–40 В.

В качестве нагрузки стабилизатора используется переменный резистор блока нагрузок (правая панель лабораторной установки). Регулирование тока, протекающего через нагрузку, производится ручками « R_H грубо» и « R_H точно».

Примерные пределы изменения R_H : от 1300 Ом в положении 1 переключателя « R_H грубо» до 17 Ом в положении «7» («11»). В положении «X.X.» $R_H = \infty$.

Напряжение на резисторе нагрузки и ток, протекающий через резистор, контролируются вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2.

Осциллограммы напряжений и токов в схеме ППН приведены на рис. 3.2.

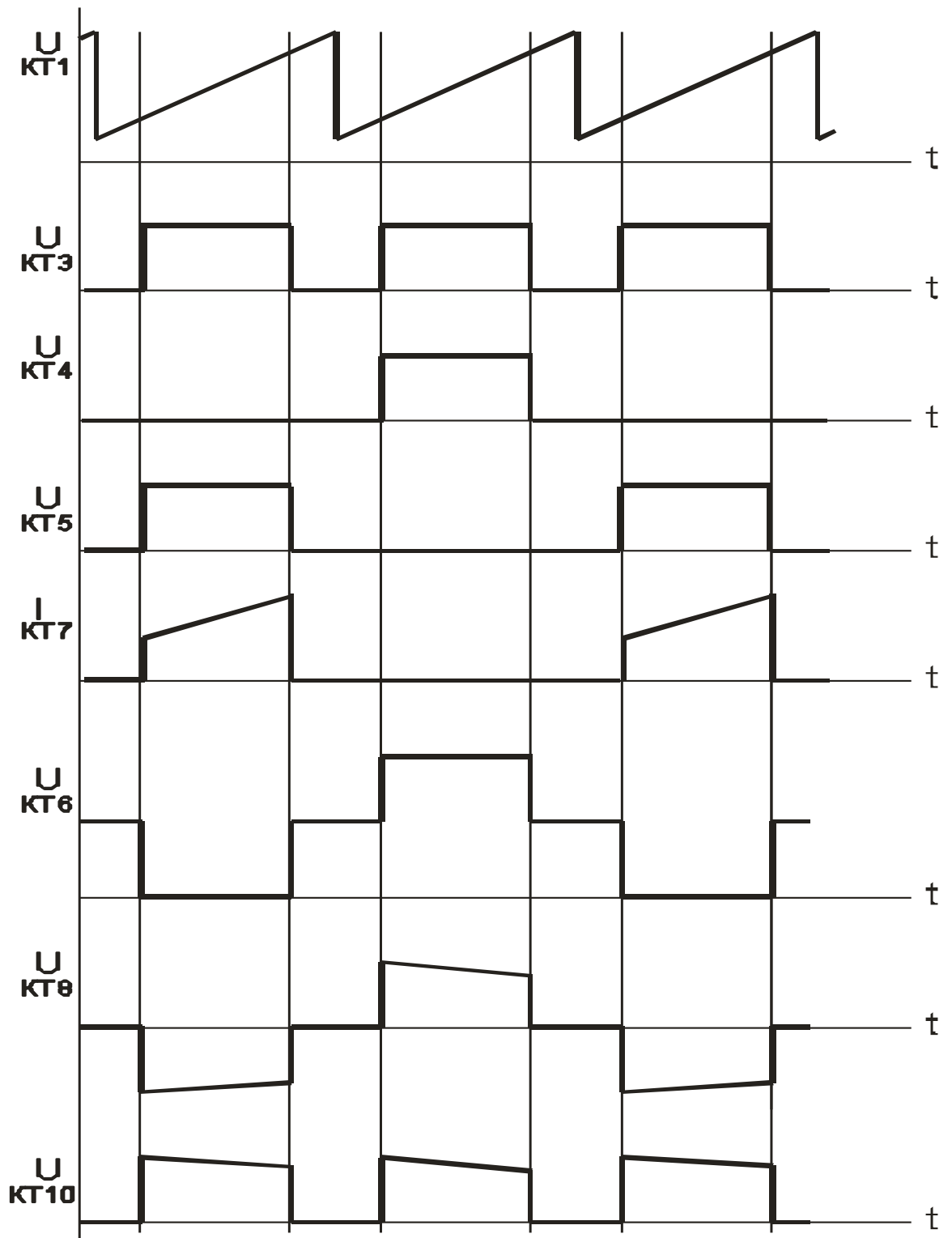


Рис. 3.2. Осциллограммы напряжений и токов в контрольных точках схемы преобразователя постоянного напряжения

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с работой преобразователя постоянного напряжения.
 - 1.1. Подготовить установку к работе.
 - Собрать схему, приведенную на рис. 3.3.

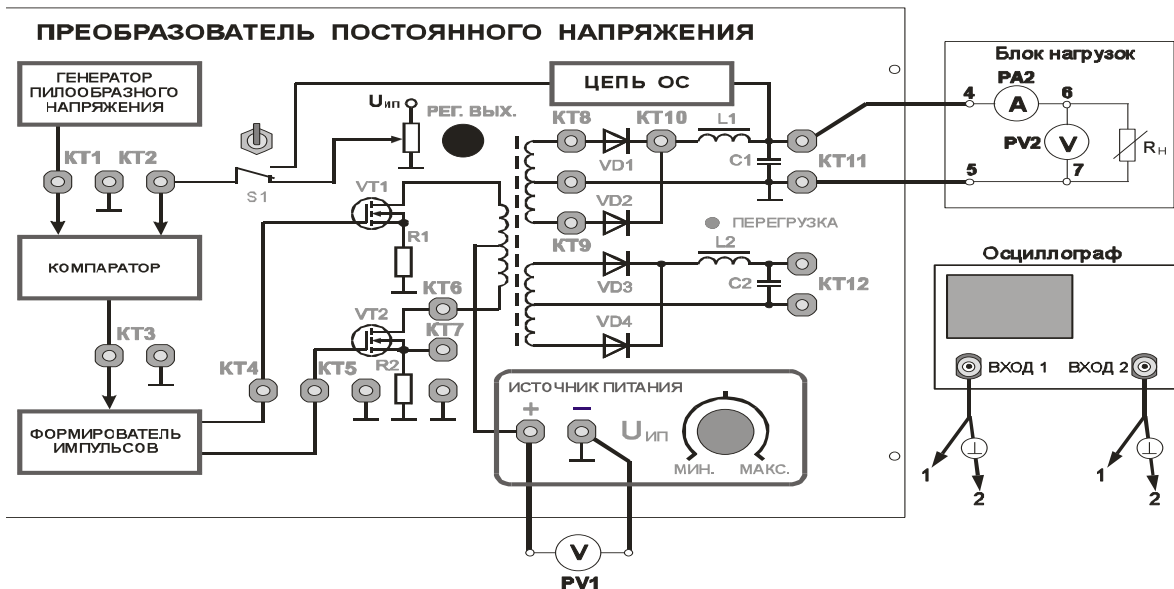


Рис. 3.3. Схема соединения элементов лабораторной установки

Переключатель $S1$ установить в нижнее положение.

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Переключатель « R_H грубо» установить в положение «7» («11»).

Переменным резистором «РЕГ.ВЫХ.» установить максимальное напряжение на выходе 1 (КТ11).

Включить питание установки.

1.2. Вход 1 осциллографа подключить к КТ1. Вход 2 осциллографа подключить к КТ3. Синхронизировать осциллограф по входу 1. Зарисовать осциллограммы напряжений в КТ1 и КТ3.

Наблюдать и зарисовать осциллограммы напряжений и токов в КТ4–КТ10. Для этого подключать к указанным контрольным точкам вход 2 осциллографа.

Наблюдать изменение осциллограмм напряжений и токов в КТ4–КТ10 при вращении переменного резистора «РЕГ.ВЫХ.».

1.3. Переключатель $S1$ установить в верхнее положение.

Наблюдать изменение осциллограмм напряжений и токов в КТ4–КТ10 при изменении сопротивления нагрузки переключателем « R_H грубо».

2. Определить зависимость между длительностью управляющих импульсов и напряжением на выходе ППН.

Переключатель $S1$ установить в нижнее положение.

Переключатель « R_n грубо» установить в положение «7» («11»).

Вход 2 осциллографа подключить к КТЗ.

Переменным резистором «РЕГ.ВЫХ.» изменять напряжение на выходе 1 (КТ11) от минимального до максимального, при этом фиксировать длительность управляющих импульсов, наблюдаемых в КТЗ.

Результаты измерений занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Зависимость между длительностью управляющих импульсов и напряжением на выходе ППН

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Результаты измерения									
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	PV2										
$\tau_{\text{ИМП}}, \text{мкс}$	Осциллограф										

По результатам измерений построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(\tau_{\text{ИМП}})$.

3. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и напряжением источника питания в режиме ручной регулировки выходного напряжения.

Переключатель S1 установить в нижнее положение.

Переключатель « R_n грубо» установить в положение «7» («11»).

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Изменять напряжение на выходе источника питания от максимального до минимального (в пределах от 18 до 11 В), при этом фиксировать напряжение на выходе ППН. Результаты измерений занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Зависимость между напряжением на выходе ППН и напряжением источника питания (ручная регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Результаты измерения									
$U_{\text{ПИТ}}, \text{В}$	PV1										
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	PV2										
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}}$											

Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}}$ для каждого значения $U_{\text{ВЫХ}}$ и занести в табл. 3.2.

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}} = f(U_{\text{ПИТ}})$.

4. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и напряжением источника питания в режиме автоматической регулировки выходного напряжения.

Переключатель S1 установить в верхнее положение.

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Изменять напряжение на выходе источника питания от максимального до минимального (в пределах от 18 до 11 В), при этом фиксировать напряжение на выходе ППН. Результаты измерений занести в табл. 3.3.

Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}}$ для каждого значения $U_{\text{ВЫХ}}$ и занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зависимость между напряжением на выходе ППН и напряжением источника питания (автоматическая регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Результаты измерения									
$U_{\text{ПИТ}}, \text{В}$	PV1										
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	PV2										
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}}$											

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}} = f(U_{\text{ПИТ}})$ в тех же координатных осях, что и в п. 3.

Сравнить полученные результаты. Сделать выводы.

5. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме ручной регулировки выходного напряжения.

Переключатель S1 установить в нижнее положение.

Переключатель « $R_{\text{Н}}$ грубо» установить в положение «7» («11»).

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Постепенно увеличивать $R_{\text{Н}}$. Для этого регулятор « $R_{\text{Н}}$ грубо» переключать от положения «7» («11») до положения «X.X.».

Заполнить табл. 3.4.

Таблица 3.4

Зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки (ручная регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя « $R_{\text{Н}}$ грубо»									
		11									X.X.
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	PV2										
$I_{\text{ВЫХ}}, \text{МА}$	РА2										
Вычислить $R_{\text{Н}} = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВЫХ}}$											
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}}$											

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАХ}} = f(R_{\text{Н}})$.

6. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме автоматической регулировки выходного напряжения.

Переключатель S1 установить в верхнее положение.

Переключатель « R_H грубо» установить в положение «7» («11»).

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Постепенно увеличивать R_H . Для этого регулятор « R_H грубо» переключать от положения «7» («11») до положения «X.X.».

Заполнить табл. 3.5.

Таблица 3.5

Зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки (автоматическая регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя « R_H грубо»									
		11									X.X.
$U_{\text{ВЫХ}}$, В	PV2										
$I_{\text{ВЫХ}}$, МА	РА2										
Вычислить $R_H = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВЫХ}}$											
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}}$											

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}} = f(R_H)$ в тех же координатных осях, что и в п. 5.

Сравнить полученные результаты. Сделать выводы.

7. Изучить свойства высокоомного выхода ППН.

7.1. Вход блока нагрузок (гнезда 4 и 5 отключить от КТ11 и подключить к КТ12).

Переключатель « R_H грубо» установить в положение «X.X.».

Переключатель S1 установить в нижнее положение.

Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

Переменным резистором «РЕГ.ВЫХ.» изменять длительность управляющих импульсов, наблюдаемых в КТ3. Наблюдать изменение напряжения на выходе ППН в КТ12. Записать минимальное и максимальное напряжения на выходе ППН.

Установить максимальное напряжение на выходе ППН. Постепенно уменьшать R_H с помощью переключателя « R_H грубо» и регулятора « R_H точно». Получить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме ручной регулировки выходного напряжения.

Заполнить табл. 3.6.

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}} = f(R_H)$.

Сравнить с результатами, полученными в п. 5. Сделать выводы.

Таблица 3.6

Зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки (ручная регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя « R_H грубо»									
		Х.Х.									
$U_{\text{ВЫХ}}$, В	PV2										
$I_{\text{ВЫХ}}$, МА	РА2										
Вычислить $R_H = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВЫХ}}$											
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}}$											

7.2. Переключатель « R_H грубо» установить в положение «Х.Х.».

Переключатель S1 установить в верхнее положение.

Постепенно уменьшать R_H с помощью переключателя « R_H грубо» и регулятора « R_H точно». Получить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме автоматической регулировки выходного напряжения.

Заполнить табл. 3.7.

Таблица 3.7

Зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки (автоматическая регулировка)

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя « R_H грубо»									
		Х. Х.									
$U_{\text{ВЫХ}}$, В	PV2										
$I_{\text{ВЫХ}}$, МА	РА2										
Вычислить $R_H = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВЫХ}}$											
Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}}$											

Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.max}} = f(R_H)$ в тех же координатных осях, что и в п. 7.1.

Сделать выводы по результатам эксперимента.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Закрепить знания принципов работы и рабочих свойств линейных стабилизаторов постоянного напряжения с непрерывным режимом работы регулирующего элемента.

Освоить методику экспериментального определения значений показателей качества компенсационных стабилизаторов постоянного напряжения с непрерывным регулированием и оценить достоинства и недостатки каждого из стабилизаторов путем сравнения численных значений показателей качества.

Описание лабораторного макета стабилизатора и указания по проведению экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводятся на макетах, смонтированных и установленных в рабочем отсеке лабораторной установки.

Для проведения исследований на вход исследуемой схемы стабилизатора подается напряжение от встроенного источника постоянного нестабилизированного напряжения. Это напряжение регулируется в пределах от 5 до 20 В. Источник имеет защиту от кратковременной перегрузки по току нагрузки. При перегрузке начинает мигать светодиод «Перегрузка». Входное напряжение и потребляемый ток контролируются с помощью PV1 и PA1 лабораторной установки. Значение тока нагрузки устанавливается путем изменения сопротивления блока нагрузок (правая панель лабораторной установки, ручка переключателя « R_H грубо» и ручка переменного резистора « R_H точно»). Примерные пределы изменения R_H : от 1300 Ом в положении «1» до 17 Ом в положении «7» («11») переключателя « R_H грубо». В положении «X.X.» $R_H = \infty$. Напряжение на нагрузке (выходное напряжение) контролируется вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2.

Введение

При оценке качества функционирования стабилизаторов напряжения необходимо определить численные значения его основных показателей качества:

коэффициента стабилизации $K_{ст}$;

относительной нестабильности выходного напряжения δ_U , %;

выходного сопротивления $R_{вых}$;

коэффициента полезного действия η .

Коэффициент стабилизации выходного напряжения стабилизатора определяется при постоянном значении сопротивления нагрузки R_H ($R_H = \text{const}$) в соответствии с соотношением

$$K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ.НОМ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}} / \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \quad \text{или} \quad K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ.НОМ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}}. \quad (4.1)$$

Номинальные значения входного напряжения $U_{\text{ВХ.НОМ}}$, выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$ измеряются вольтметрами PV1 и PV2, установленными на приборной панели установки.

Значение динамического **выходного сопротивления** стабилизатора $R_{\text{ВЫХ.ДИН}}$ определяется при постоянной величине входного напряжения $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$ (т. е. $\Delta U_{\text{ВХ}} = 0$):

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_H}, \quad (4.2)$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – отклонение выходного напряжения стабилизатора от его номинального значения, соответствующее изменению тока нагрузки на величину ΔI_H ($\Delta I_H = I_{H.\text{НОМ}} - I_{H.\text{min}}$).

Потери мощности в элементах стабилизатора оцениваются его **коэффициентом полезного действия** η :

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}. \quad (4.3)$$

Для стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием (НСН) величина КПД может быть оценена приближенным соотношением

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}} \approx \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}. \quad (4.4)$$

Соотношение справедливо при допущении, что $I_H \approx I_{\text{ВХ}}$, что в стабилизаторах постоянного напряжения с последовательным включением регулирующего транзистора и нагрузки практически всегда выполняется. Следует отметить, что чем больше величина тока нагрузки стабилизатора (т. е. чем больше его выходная мощность), тем более точно выполняется соотношение (5.4).

I. Экспериментальное исследование стабилизатора постоянного напряжения на интегральной микросхеме КР142ЕН8Б

Установить переключатель « R_H грубо» в положение «2», а ручку переменного резистора « R_H точно» – в среднее положение (рис. 4.1).

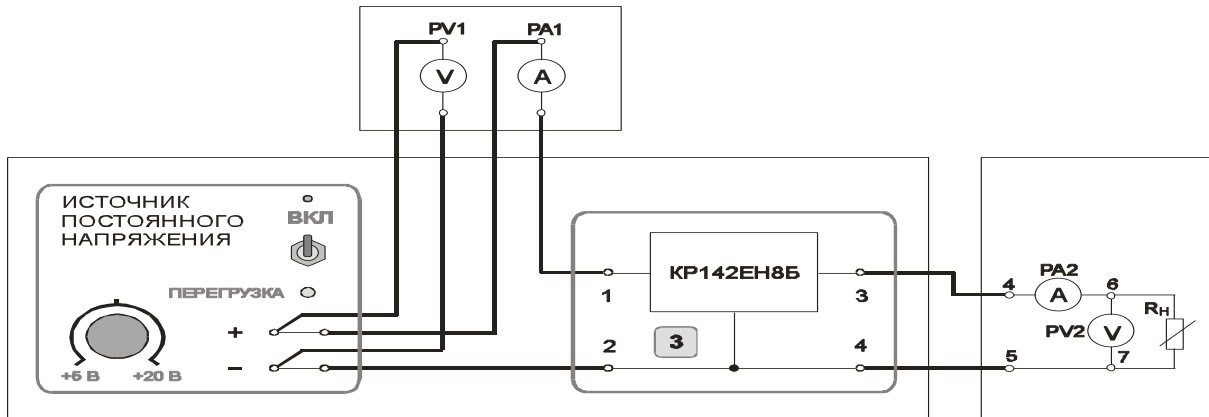


Рис. 4.1. Схема соединений коммутационными шнурами элементов установки для исследования стабилизатора на интегральной микросхеме КР142ЕН8Б

Включить питание установки.

Включить источник постоянного напряжения.

Определение коэффициента стабилизации $K_{ст}$

Установить переключатель « R_H грубо» в положение «2», а ручку переменного резистора « R_H точно» – в среднее положение.

Установить значения входного напряжения $U_{вх}$ согласно табл. 4.1.

В процессе измерений ручкой « R_H точно» поддерживать неизменной величину тока нагрузки I_H .

Результаты измерений и вычислений свести в табл. 4.1.

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.1 при $U_{вх} = 15$ В, по формуле (4.1).

Таблица 4.1

Определение коэффициента стабилизации $K_{ст}$

Измеряемый параметр	Прибор	Результаты измерений			$K_{ст}$
$U_{вх}$, В	PV1	15,0	16,0	17,0	
U_H , В	PV2				
I_H , А	РА2				

Примечание. В качестве $U_{вх}$ и U_H берутся значения 4-го столбца табл. 4.1.

Определение выходного сопротивления $R_{вых}$

Установить $U_{вх} = 15$ В.

Измерить U_H и I_H при среднем значении сопротивления нагрузки R_H (переключатель « R_H грубо» перевести в положение «2», ручку « R_H точно» – в среднее положение), поддерживая постоянство напряжения на входе ($U_{вх} = 15$ В).

Перевести переключатель « R_H грубо» в положение «5» и измерить U_H и I_H в этом положении переключателя.

Результаты измерений свести в табл. 4.2.

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.2 при $U_{BX} = 15$ В, по формуле (4.2).

Таблица 4.2

Определение выходного сопротивления $R_{ВЫХ}$

Измеряемый параметр	Прибор	Результаты измерений		$R_{ВЫХ}$, Ом
		Положение «2»	Положение «5»	
U_H , В	PV1			
ΔU_H , В				
I_H , мА	PA1			
ΔI_H , мА				

Определение КПД

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.2 при $U_{BX} = 15$ В, по формуле (4.4).

II. Экспериментальное исследование транзисторного компенсационного стабилизатора с непрерывным регулированием

Установить переключатель « R_H грубо» в положение «2», а ручку переменного резистора « R_H точно» – в среднее положение (рис. 4.2).

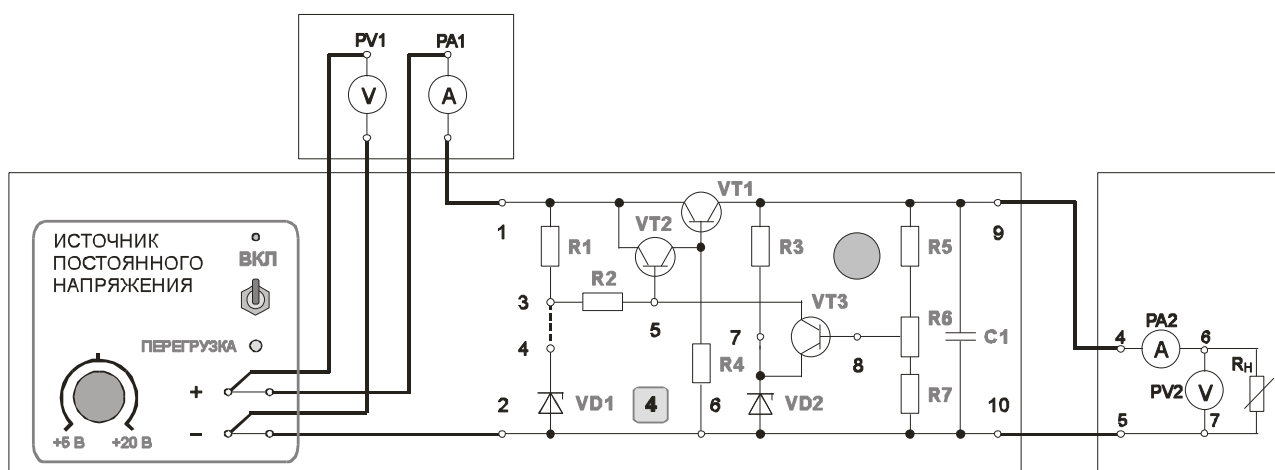


Рис. 4.2. Схема соединений коммутационными шнурами элементов установки для исследования компенсационного стабилизатора с непрерывным регулированием

Включить питание установки.

Включить источник постоянного напряжения.

Определение коэффициента стабилизации $K_{ст}$

Установить переключатель « R_H грубо» в положение «2», а ручку переменного резистора « R_H точно» – в среднее положение.

Установить значения входного напряжения $U_{вх}$ по табл. 4.3.

В процессе измерений ручкой « R_H точно» поддерживать неизменной величину тока нагрузки I_H .

Результаты измерений и вычислений свести в табл. 4.3.

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.4 при $U_{вх} = 13$ В, по формуле (4.3).

Таблица 4.3

Определение коэффициента стабилизации $K_{ст}$

Измеряемый параметр	Прибор	Результаты измерений			$K_{ст}$
		12,0	13,0	14,0	
$U_{вх}$, В	PV1				
U_H , В	PV2				
I_H , А	РА2				

Примечание. В качестве $U_{вх}$ и U_H берутся значения 4-го столбца табл. 4.1.

Определение выходного сопротивления $R_{вых}$

Установить $U_{вх} = 13$ В.

Измерить U_H и I_H при среднем значении сопротивления нагрузки R_H (переключатель « R_H грубо» перевести в положение «2», ручку « R_H точно» – в среднее положение), поддерживая постоянно напряжение на входе ($U_{вх} = 13$ В).

Перевести переключатель « R_H грубо» в положение «5» и измерить U_H и I_H в этом положении переключателя.

Результаты измерений свести в табл. 4.4

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.4 при $U_{вх} = 13$ В, по формуле (4.3).

Таблица 4.4

Определение выходного сопротивления $R_{вых}$

Измеряемый параметр	Прибор	Результаты измерений		$R_{вых}$, Ом
		Положение «2»	Положение «5»	
U_H , В	PV1			
ΔU_H , В				
I_H , мА	РА1			
ΔI_H , мА				

Определение КПД

Вычисления произвести, пользуясь данными табл. 4.4 при $U_{\text{вх}} = 13 \text{ В}$, по формуле (4.4).

III. Сравнение показателей качества исследуемых схем стабилизаторов

Вычисленные по результатам измерений значения коэффициента стабилизации $K_{\text{ст}}$, выходного сопротивления $R_{\text{вых}}$ и коэффициента полезного действия η свести в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Значения показателей качества

Тип стабилизатора	Коэффициент стабилизации $K_{\text{ст}}$	Выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$, Ом	КПД
ИМС КР142ЕН8Б			
Транзисторный, с непрерывным регулированием			

По результатам проведенного эксперимента сделать выводы.

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Закрепить знания принципов работы и рабочих свойств стабилизаторов постоянного напряжения с ключевым режимом работы регулирующего элемента.

Освоить методику экспериментального определения значений показателей качества компенсационных стабилизаторов постоянного напряжения с широтно-импульсным и релейным принципами регулирования и оценить достоинства и недостатки каждого из стабилизаторов путем сравнения численных значений показателей качества.

Описание лабораторного макета стабилизатора и указания по проведению экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводятся на макетах, смонтированных и установленных в рабочем отсеке лабораторной установки УНЦ СПб ГУТ.

Для проведения исследований на вход исследуемой схемы стабилизатора подается напряжение от встроенного источника постоянного нестабилизированного напряжения. Это напряжение регулируется в пределах от 5 до 20 В. Источник имеет защиту от кратковременной перегрузки по току нагрузки. При перегрузке начинает мигать светодиод «Перегрузка».

Входное напряжение и потребляемый ток контролируются с помощью PV1 и PA1 лабораторной установки (рис. 5.1).

Значение тока нагрузки устанавливается путем изменения сопротивления блока нагрузок (правая панель лабораторной установки, ручка переключателя « R_H грубо» и ручка переменного резистора « R_H точно»). Примерные пределы изменения R_H : от 1300 Ом в положении «1» до 17 Ом в положении «7», («11») переключателя « R_H грубо». В положении «X.X.» $R_H = \infty$.

Напряжение на нагрузке (выходное напряжение) контролируется вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2.

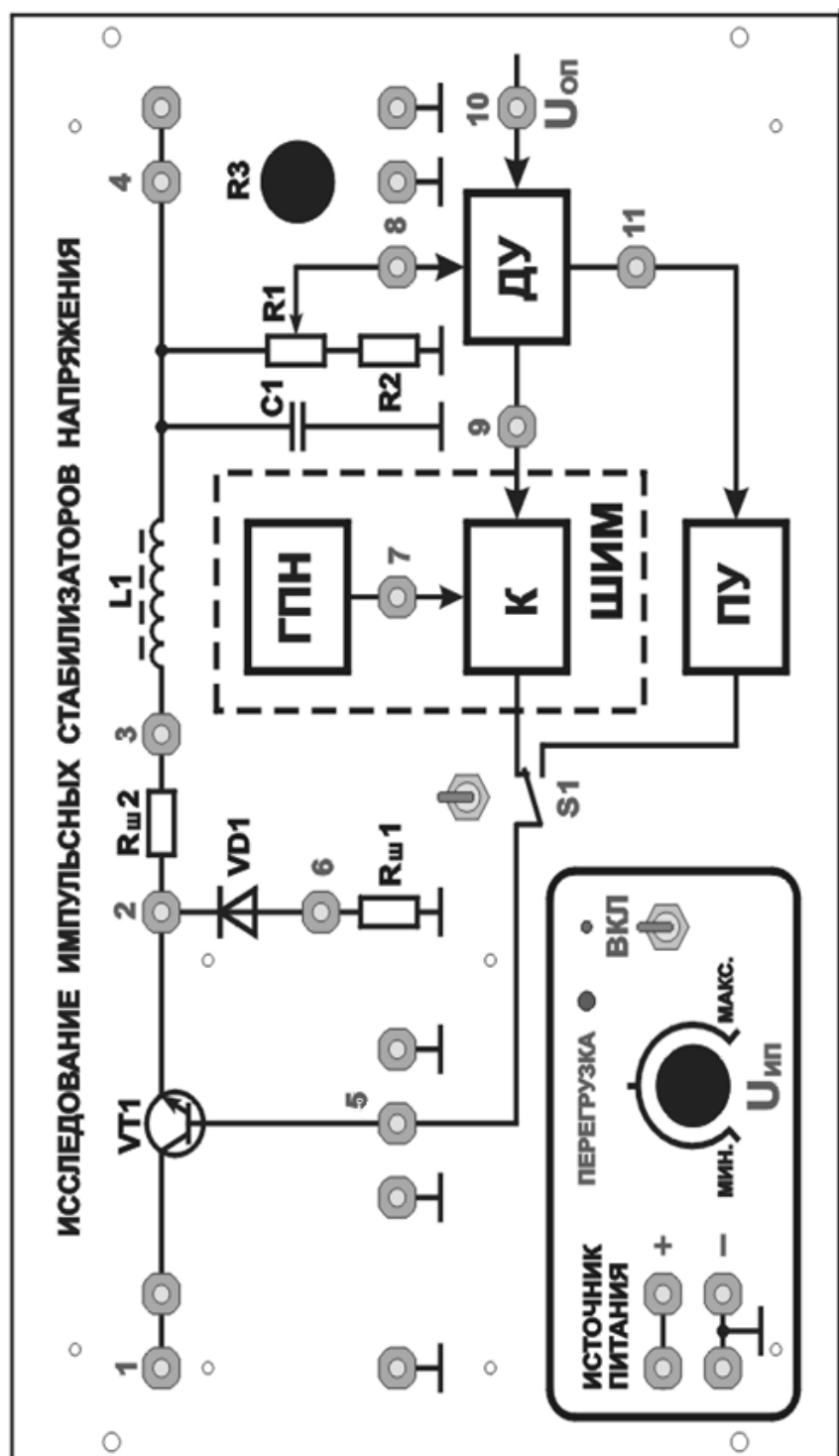


Рис. 5.1. Внешний вид сменного блока «Импульсный стабилизатор постоянного напряжения»

Введение

При оценке качества функционирования стабилизаторов напряжения необходимо определить численные значения его основных показателей качества:

коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$;

относительной нестабильности выходного напряжения δ_U , %;

выходного сопротивления $R_{\text{ВЫХ}}$;

коэффициента полезного действия η .

Коэффициент стабилизации выходного напряжения стабилизатора определяется при постоянном значении сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$ ($R_{\text{Н}} = \text{const}$) в соответствии с соотношением

$$K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ.НОМ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}} / \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \quad \text{или} \quad K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ.НОМ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}}. \quad (5.1)$$

Номинальные значения входного напряжения $U_{\text{ВХ.НОМ}}$, выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$ измеряются вольтметрами PV1 и PV2, установленными на приборной панели установки.

Относительная нестабильность выходного напряжения $\delta_{U_{\text{ВЫХ}}}$, также определяется при постоянном значении сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}} = \text{const}$:

$$\delta_{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\%. \quad (5.2)$$

Значение динамического **выходного сопротивления** стабилизатора $R_{\text{ВЫХ.ДИН}}$ определяется при постоянной величине входного напряжения $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$ (т. е. $\Delta U_{\text{ВХ}} = 0$):

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_{\text{Н}}}, \quad (5.3)$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – отклонение выходного напряжения стабилизатора от его номинального значения, соответствующее изменению тока нагрузки на величину $\Delta I_{\text{Н}}$ ($\Delta I_{\text{Н}} = I_{\text{Н.НОМ}} - I_{\text{Н.МИН}}$).

Потери мощности в элементах стабилизатора оцениваются его **коэффициентом полезного действия** η :

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \quad (5.4)$$

ИЛИ

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}}. \quad (5.5)$$

Коэффициент пульсаций K_{Π} выходного напряжения стабилизатора определяется при постоянном значении сопротивления нагрузки R_{H} ($R_{\text{H}} = \text{const}$) в соответствии с соотношением

$$K_{\Pi} = \frac{0,5U_{\text{разм}}}{U_{\text{вых.ном}}} \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

I. Экспериментальное исследование транзисторного компенсационного стабилизатора с широтно-импульсным регулированием

Переключатель S1 на панели ИСН установить в верхнее положение (рис. 5.2).

Переключатель « R_{H} грубо» установить в положение «5».

Вольтметры PV1 и PV2 установить в режим измерения постоянного напряжения. Миллиамперметр PA1 установить в режим измерения постоянного тока.

Включить электропитание установки.

Включить источник постоянного напряжения.

Входное напряжение установить регулятором $U_{\text{и.п}}$ источника питания, контролировать вольтметром PV1.

Выходное напряжение установить регулятором R1, контролировать вольтметром PV2.

Ток нагрузки установить регуляторами « R_{H} грубо» и « R_{H} точно», контролировать амперметром PA2.

Определение коэффициента стабилизации $K_{\text{ст}}$

Установить **номинальный** режим работы стабилизатора:

$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$; $U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}$; $I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}$ (180 мА).

Увеличить напряжение источника питания до максимально возможного $U_{\text{вх.мах}}$ (вольтметр PV1).

Записать значение выходного напряжения стабилизатора $U_{\text{вых1}}$ (вольтметр PV2).

Определить $\Delta U_{\text{вх}}$, $\Delta U_{\text{вых}}$ – соответственно приращения входного и выходного напряжений стабилизатора при неизменном сопротивлении нагрузки.

Рассчитать коэффициент стабилизации по входному напряжению по формуле (5.1).

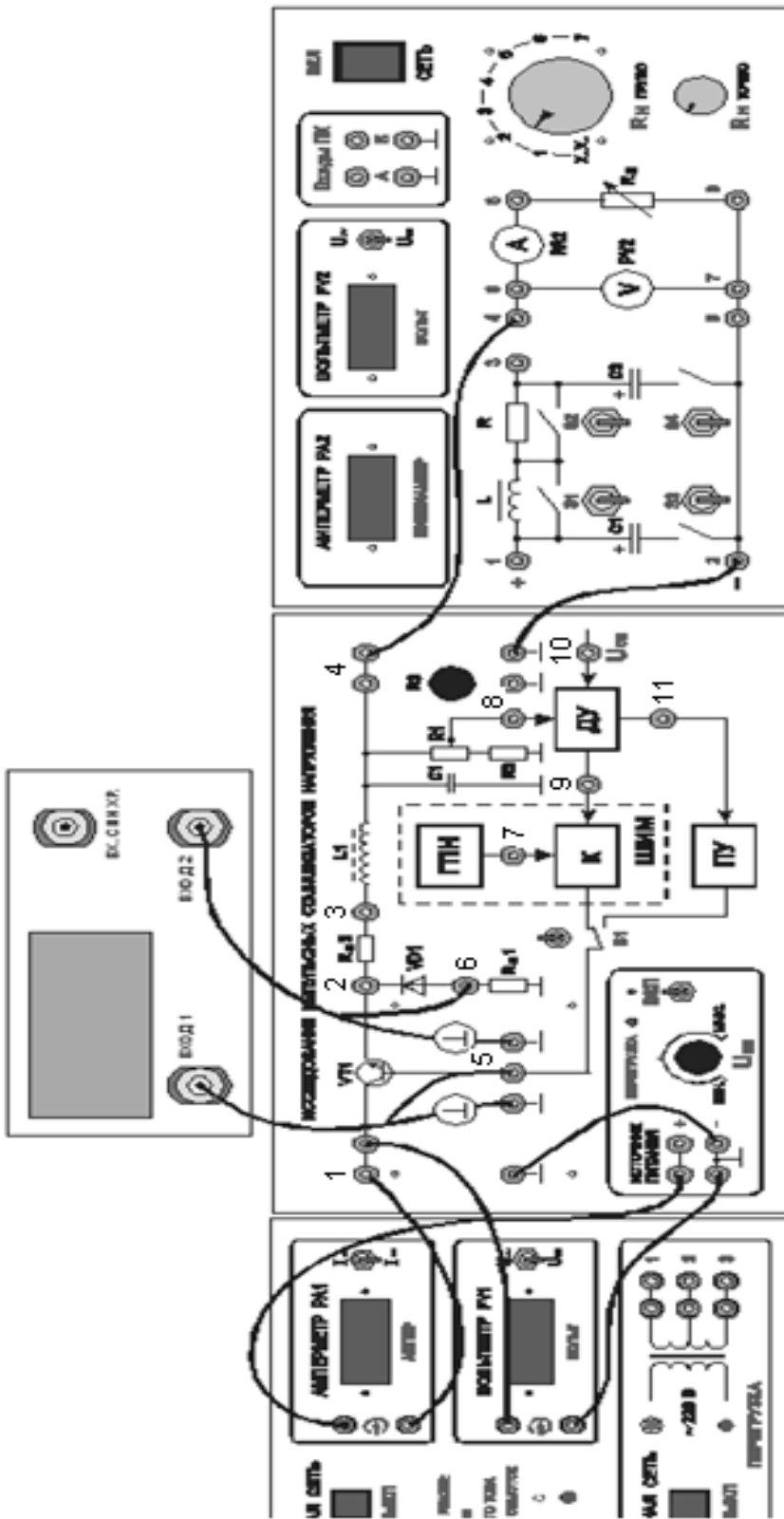


Рис. 5.2. Схема соединений коммутационными шнурами элементов установки для исследования компенсационного стабилизатора с широтно-импульсным регулированием

Определение выходного сопротивления $R_{\text{вых}}$

Установить: $U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$; $U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}$; $I_{\text{нагр.ном}} = 0,12 \text{ А}$.

Увеличить сопротивление нагрузки таким образом, чтобы ток нагрузки уменьшился в 3–4 раза. При этом поддерживать $U_{\text{вх}} = \text{const} = U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$.

Записать изменение выходного напряжения стабилизатора $\Delta U_{\text{вых}}$ и тока нагрузки $\Delta I_{\text{нагр}}$.

Рассчитать выходное сопротивление по формуле (5.3).

Определение КПД

Установить **номинальный** режим работы стабилизатора:

$U_{\text{вх.ном}} = 1 \text{ В}$; $U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}$; $I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}$.

Записать значения $I_{\text{вх}}$ (миллиамперметр РА2).

Рассчитать значение КПД по формуле (5.5).

Определение коэффициента пульсаций K_n

Установить **номинальный** режим работы стабилизатора:

$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$; $U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}$; $I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}$.

С помощью осциллографа определить частоту и размах пульсаций. Амплитуду пульсаций брать как половину размаха.

Определить коэффициент пульсаций по формуле (5.6).

Снятие осциллограмм напряжений и токов в контрольных точках схемы стабилизатора

при широтно-импульсном управлении регулирующим элементом

Режим работы осциллографа:

двухканальный, синхронизация по входу 1;

вход 1 – открытый; чувствительность 5 В/дел.; длительность развертки 20 мкс/дел.;

вход 2 – открытый; чувствительность 0,2 В/дел.

Установить **номинальный** режим работы стабилизатора:

$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$; $U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}$; $I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}$.

Получить на экране осциллографа устойчивое изображение формы напряжения в КТ2 и КТ4.

Рассчитать и записать частоту переключения $f_{\text{п}}$.

Визуально определить зависимость длительности управляющих импульсов и частоты переключения от величин $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вых}}$, $I_{\text{нагр}}$. Для этого наблюдать осциллограммы напряжений в КТ5 при различных режимах работы импульсного стабилизатора напряжения.

Наблюдать осциллограммы напряжений в КТ2, КТ4, КТ5, КТ6, КТ7, КТ8, КТ9, КТ10. Для этого подключать к указанным контрольным точкам

вход 2 осциллографа. При необходимости переключать режим входа 2 «Открытый/закрытый» и изменять его чувствительность.

Те же осциллограммы наблюдать при различных режимах работы стабилизатора.

II. Экспериментальное исследование транзисторного компенсационного стабилизатора с релейным регулированием

Установить *номинальный* режим работы стабилизатора:

$$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}; U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}; I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}.$$

Определение коэффициента стабилизации, выходного сопротивления и КПД

Определение коэффициента стабилизации, выходного сопротивления и КПД осуществляется, как для стабилизатора с широтно-импульсным регулированием по формулам (5.1) или (5.2), (5.4), (5.6).

Определение коэффициента пульсаций $K_{\text{п}}$

Установить *номинальный* режим работы стабилизатора:

$$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}; U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}; I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}.$$

С помощью осциллографа определить частоту переключения и размах пульсаций.

Амплитуду пульсаций брать как половину размаха.

Определить коэффициент пульсаций по (5.6).

Увеличить напряжение источника питания до максимально возможного

$U_{\text{вх.мах}}$ (вольтметр PV1).

С помощью осциллографа определить новую частоту переключения и размах пульсаций на этой частоте. Амплитуду пульсаций брать как половину размаха.

Определить коэффициент пульсаций по (5.6).

Снятие осциллограмм напряжений и токов в контрольных точках схемы стабилизатора при релейном управлении регулирующим элементом

Установить *номинальный* режим работы стабилизатора:

$$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}; U_{\text{вых.ном}} = 3 \text{ В}; I_{\text{нагр.ном}} = 0,18 \text{ А}.$$

Получить на экране осциллографа устойчивое изображение формы напряжения в КТ5 и КТ6.

Режим работы осциллографа:

двухканальный, синхронизация по входу 1;

вход 1 – открытый; чувствительность 5 В/дел.; длительность развертки 20 мкс/дел.;

вход 2 – открытый; чувствительность 0,2 В/дел.

Наблюдать осциллограммы напряжений в КТ2, КТ4, КТ5, КТ6, КТ8, КТ10, КТ11. Для этого подключать к указанным контрольным точкам вход 2 осциллографа. При необходимости переключать режим входа 2 «Открытый/закрытый» и изменять его чувствительность.

Те же осциллограммы наблюдать при различных режимах работы стабилизатора.

Рассчитать и записать частоту переключения $f_{п}$ для номинального и максимального значений входного напряжения $U_{вх.ном}$ и $U_{вх.мах}$ при $u_{вых.ном} = 3 В$; $I_{нагр.ном} = 0,18 А$. Данные свести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Определение частоты переключений

Режим	$U_{вх.ном},$ В	$U_{вх.мах},$ В	$\Delta U_{вх},$ В	$U_{вых.ном},$ В	$\Delta U_{вых},$ В	$f'_{п},$ кГц	$f''_{п},$ кГц
Широтно-импульсное регулирование							
Релейное регулирование							

III. Сравнение показателей качества исследуемых схем стабилизаторов

Вычисленные по результатам измерений значения коэффициента стабилизации $K_{ст}$, выходного сопротивления $R_{вых}$ и коэффициента полезного действия η представить в табл. 5.2, а значения коэффициента пульсаций и частоту пульсаций представить в табл. 5.3.

Таблица 5.2

Значения показателей качества

Тип стабилизатора	Коэффициент стабилизации $K_{ст}$	Выходное сопротивление $R_{вых}, Ом$	КПД
С широтно-импульсным регулированием			
С релейным регулированием			

Значения частоты и коэффициента пульсаций

Тип стабилизатора	Коэффициент пульсаций	Частота пульсаций, кГц	
		$U_{\text{вх.ном}} = 15 \text{ В}$	$U_{\text{вх.мах}} =$
С широтно-импульсным регулированием			
С релейным регулированием			

IV. Снятие осциллограмм напряжения на индуктивности и тока через индуктивность сглаживающего фильтра

Для исключения нарушений в работе стабилизатора обязательно отсоедините вход 2 осциллографа от контрольных точек схемы стабилизатора!

Снятие осциллограммы напряжения на индуктивности

Подключить вход 1 осциллографа к КТ3 и КТ4 согласно рис. 5.3.

Наблюдать форму напряжения на индуктивности сглаживающего фильтра.

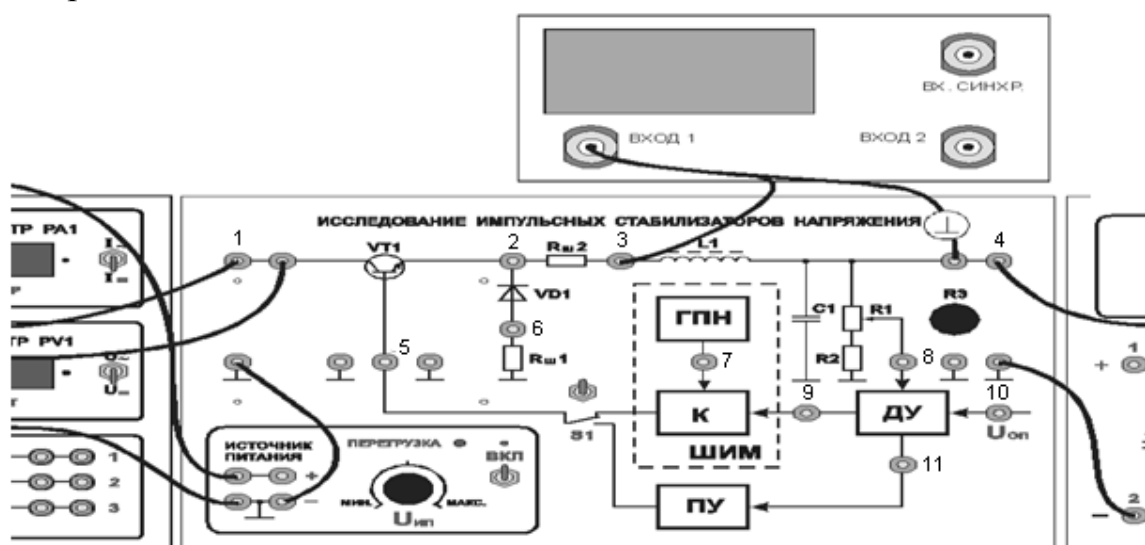


Рис. 5.3. Подключение осциллографа к макету стабилизатора при наблюдении формы напряжения на индуктивности сглаживающего фильтра

Снятие осциллограммы тока через индуктивность

Подключить вход 1 осциллографа к КТ2 и КТ3 согласно рис. 5.4.

Наблюдать форму тока, протекающего через индуктивность сглаживающего фильтра.

Выключить источник постоянного напряжения.

Выключить электропитание установки.

По результатам эксперимента оформить отчет и сделать выводы.

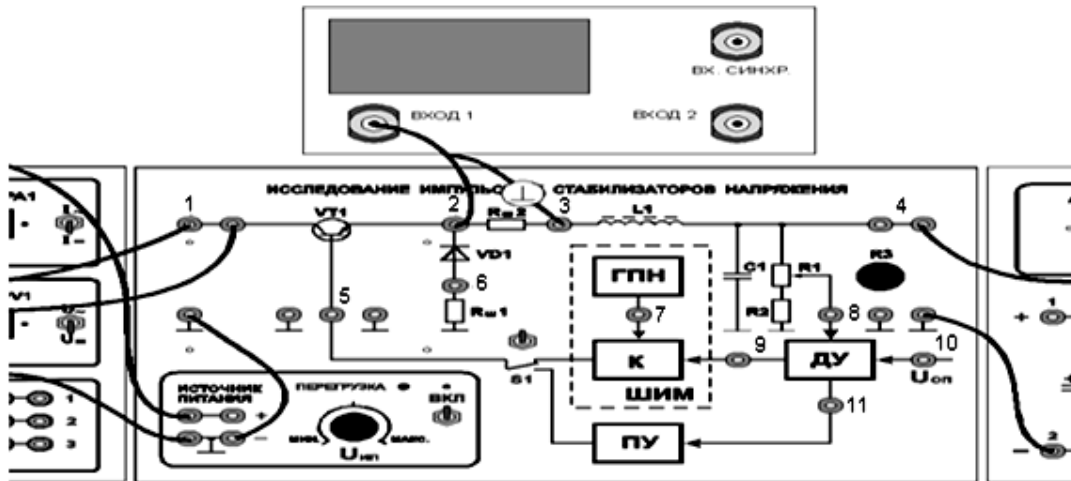


Рис. 5.4. Подключение осциллографа к макету стабилизатора при наблюдении формы тока, протекающего через индуктивность сглаживающего фильтра

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев, В. М. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. М. Бушуев [и др.]. – М. : Горячая линия–Телеком, 2009. – 384 с.
2. Бушуев, В. М. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций : учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс] / В. М. Бушуев, В. А. Деминский, Л. Ф. Захаров [и др.]. – М. : Горячая линия–Телеком, 2011. – 384 с.
3. Электропитание устройств связи [Текст] : учебник для вузов / О. А. Доморацкий [и др.]. – М. : Радио и связь, 1981. – 320 с.

**Виноградов Петр Юрьевич
Воробьев Олег Владимирович
Копылова Ирина Вячеславовна
Маракулин Вячеслав Вениаминович
Шамсиев Бахтияр Газиевич**

**ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ
УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Лабораторный практикум

Редактор *И. И. Щенсяк*

План издания 2018 г., п. 8

Подписано к печати 05.12.2018
Объем 2,75 усл.-печ. л. Тираж 18 экз. Заказ 908

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ
193232 СПб., пр. Большевиков, 22

Отпечатано в СПбГУТ