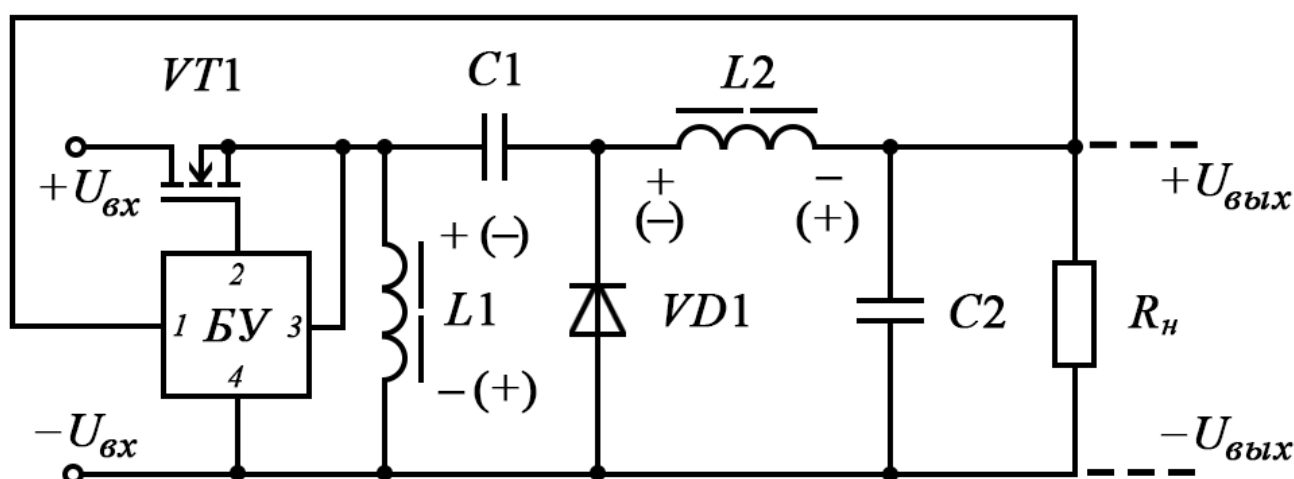


**В.К. Битюков, Д.С. Симачков,
Д.А. Малицкий, А.И. Лавренов.**

СХЕМОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Часть 2

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлениям бакалавриата 11.03.01 Ра-
диотехника, 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи,
11.03.03 Конструирование и технология электронных средств и специальности
11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы



Оглавление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ПОСТРОЕННЫЙ ПО ТОПОЛОГИИ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА.....	4
1.1. Цель работы	4
1.2. Описание лабораторного макета	4
1.3. Программа выполнения работы.....	5
1.3.1. Исследование регулировочных характеристик $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$	6
1.3.2. Исследование нагрузочных характеристик $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вых}})$	7
1.4. Вопросы по лабораторной работе	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОДНОФАЗНЫЙ НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ	11
2.1. Цель работы	11
2.2. Описание лабораторного макета	11
2.3. Программа выполнения работы.....	13
2.3.1. Исследование одноступенчатого выпрямителя с сглаживающими фильтрами	13
2.3.2. Исследование мостового выпрямителя с сглаживающими фильтрами	15
2.3.3. Исследование нагрузочных характеристик	15
2.4. Вопросы по лабораторной работе	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ С ВОЛЬТОДОБАВКОЙ.....	18
3.1. Цель работы	18
3.2. Описание лабораторного макета	18
3.3. Программа выполнения работы.....	20
3.3.1. Исследование двухступенчатого выпрямителя	20
3.3.2. Исследование нагрузочных характеристик	21
3.3.3. Исследование регулировочных характеристик	23
3.4. Вопросы по лабораторной работе	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ	25
4.1. Цель работы	25
4.2. Описание лабораторного макета	25
4.3. Программа выполнения работы.....	29
4.3.1 Исследование линейного стабилизатора напряжения без УПТ и с линейным гасящим (балластным) резистором.....	29
4.3.2. Исследование линейного стабилизатора напряжения без УПТ и с нелинейным гасящим резистором	30
4.3.3. Исследование линейного стабилизатора напряжения с УПТ в цепи обратной связи и линейной	

нагрузкой УПТ.....	30
4.3.4. Исследование линейного стабилизатора напряжения с УПТ в цепи обратной связи и с токостабилизирующим двухполюсником в цепи нагрузки УПТ.....	30
4.3.5 Исследование схемы защиты стабилизатора.....	31

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ.....32

5.1. Цель работы	32
5.2. Описание лабораторного макета	32
5.3. Программа выполнения работы.....	34
5.3.1. Исследование преобразователя напряжения постоянного тока, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа	35
5.3.2. Исследование преобразователя напряжения постоянного тока, силовая часть которого построена по схеме полярно-инвертирующего типа	36
5.3.3. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ШИМ	36
5.3.4. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме полярно-инвертирующего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ШИМ.	37
5.3.5. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ДПМ.....	37
5.4. Вопросы по лабораторной работе	37

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ПОСТРОЕННЫЙ ПО ТОПОЛОГИИ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА

1.1. Цель работы

Изучение принципов работы, физики и схемотехники импульсных стабилизированных ИВЭ понижающего и повышающего типа с накачкой заряда.

1.2. Описание лабораторного макета

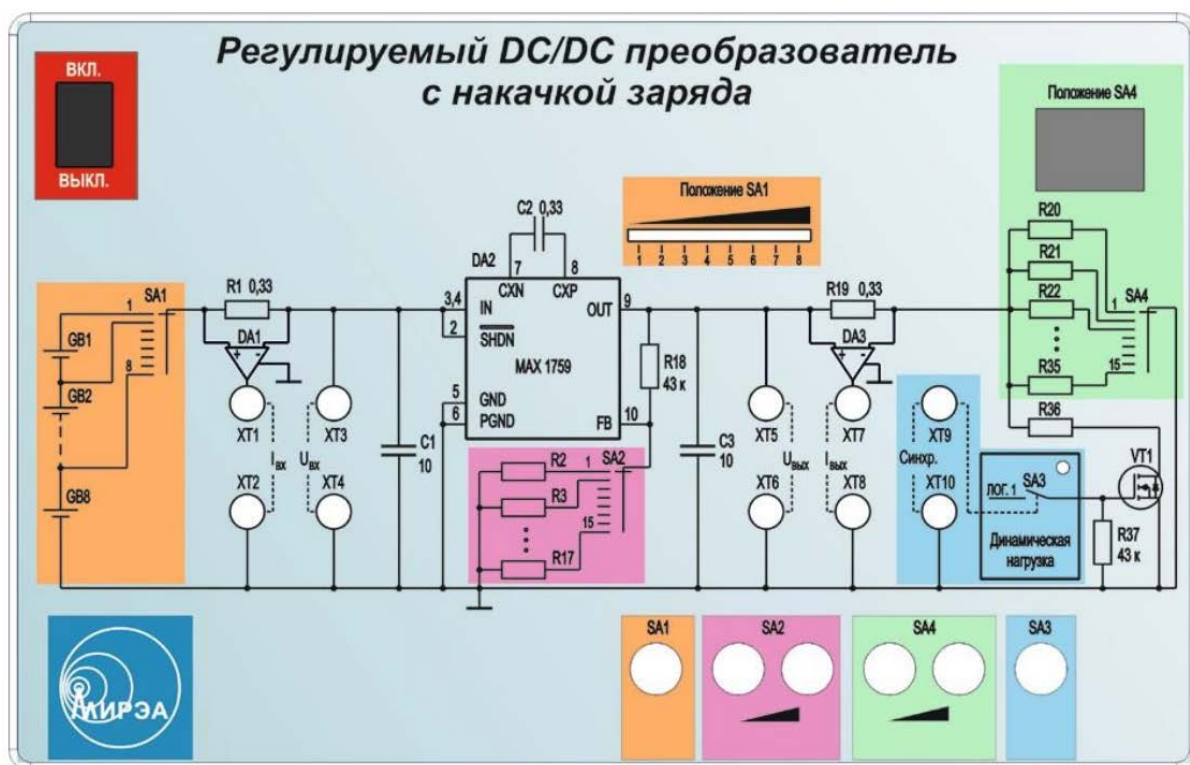


Рисунок 1.1 – Лицевая панель лабораторного макета

На лицевой панели лабораторного макета размещен раздел с упрощенной принципиальной электрической схемой управления лабораторным макетом, а также несколько разделов управления с соответствующими им элементами индикации: кнопку включения лабораторного макета (в левом верхнем углу) и разделы управления входным источником сигнала «SA1»,

выходным напряжением микросхемы «SA2», нагрузкой «SA4» и динамической нагрузкой «SA3».

Раздел управления входным источником сигнала отвечает за переключение между различными входными напряжениями в диапазоне от 1.7 В до 5.1 В.

Раздел управления выходным напряжением микросхемы позволяет изменять стабилизированное напряжение.

Переключатель нагрузки позволяет подключать один из пятнадцати нагрузочных резисторов к схеме.

Используемые в качестве объекта исследований микросхемы MAX1759 и MCP1253 являются DC-DC преобразователями, которые стабилизируют выходное напряжение при изменении входного напряжения в диапазоне как выше, так и ниже выходного. Данное свойство весьма необходимо, например, при использовании в качестве источника питания различной малогабаритной аппаратуры Li+ батарей, которые в течение срока службы меняют своё напряжение от 3,6 В до 1,5 В. В этом случае для того, чтобы получать на выходе преобразователя DC-DC напряжение 3,3 В, сначала требуется понижающий преобразователь. При снижении напряжения батареи ниже 3,3 В требуется повышающий преобразователь. Уникальные возможности поддержания выходного напряжения ниже или выше входного напряжения достигаются применением оригинальной схемы управления, которая реализует либо режим регулируемого удвоителя напряжения ($U_{\text{вх}} < U_{\text{н}}$), либо режим понижающего стробируемого ключа ($U_{\text{вх}} > U_{\text{н}}$), в зависимости от входного напряжения и тока нагрузки.

Все сигналы постоянного напряжения измеряются цифровым мультиметром НМС 8012.

1.3. Программа выполнения работы

В комплектация экспериментального стенда содержит: лабораторный макет, мультиметр и компьютер.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с экспериментальным стендом «РЕГУЛИРУЕМЫЙ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА», изучить его лицевую панель, гнезда для подключения измерительного оборудования и кнопки управления.

Соединить с помощью кабелей мультиметр и лабораторный макет. На

мультиметре использовать гнезда подключения А, СОМ и V, расположенные в правом нижнем углу лицевой панели мультиметра.

После этого включить мультиметр, лабораторный макет и компьютер.

1.3.1. Исследование передаточных характеристик $U_H = f(U_{BX})$

Передаточные характеристики представляют зависимость выходных параметров от входных. В схемах стабилизаторов напряжения выходными параметрами являются U_H и $I_{ВЫХ}$, а входными $U_{ВХ}$ и I_H . Поскольку зависимости выходных параметров от входных изменяются с изменением сопротивления нагрузки, нужно ограничить область изменения некоторых определяющих параметров. Так как система управления макетом позволяет получать только 8 дискретных значений $U_{ВХ}$, уменьшать их число нецелесообразно. Но при каждом значении $U_{ВХ}$ для анализа работы преобразователя достаточно ограничиться тремя значениями U_H , находящимися в начале, середине и конце диапазона устанавливаемых значений, например, 2,5 В; 3,6 В и 5,2 В. В связи с большим объемом получаемой экспериментальной информации из 15 возможных значений выбора сопротивления нагрузки R_H можно выбрать лишь два значения, например, минимальное значение $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ (соответствует установке значения 15 на индикаторе положения SA4), и максимальное значение $R_{H2} = 820 \text{ Ом}$ (положение 1 на том же индикаторе). Таким образом, для каждого из двух выбранных значений сопротивления нагрузки результаты измерений могут быть занесены в таблицы, аналогичные таблице 1.2, форма которой приведена ниже. Все значения выходного напряжения целесообразно устанавливать при максимальном значении напряжения на входе. Обозначим его как U_{H0} .

Таблица 1.1 – Результаты измерений передаточных характеристик при $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ и $U_{H0} \cong 2,5 \text{ В}$.

№ R_H	$U_{ВХ}, \text{ В}$	$I_{ВХ}, \text{ А}$	$U_H, \text{ В}$	$I_H, \text{ А}$	КПД, %
1					
...					
8					

Затем при установленном значении сопротивления нагрузки $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ нужно провести аналогичные циклы измерений для двух других значений выходного напряжения $U_{H0} \cong 3,6 \text{ В}$ и $U_{H0} \cong 5,2 \text{ В}$ и их результаты

занести в аналогичные таблицы. При выполнении подобных циклов измерений при R_{H2} будет нужно оформить еще три таблицы.

Порядок выполнения задания:

1. Измерение передаточных характеристик при $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ и $U_H = 2.5 \text{ В}$.
 - 1.1. Динамическая нагрузка должна быть отключена (SA3, светодиод не горит).
 - 1.2. Подключить сопротивление нагрузки равное 50 Ом (SA4 в положении 15).
 - 1.3. Выставить входное напряжение равное 5.1 В (SA1 в положении 8).
 - 1.4. Изменяя выходное напряжение микросхемы (переключатель SA2), сделать его равным 2.5 В.
 - 1.5. Изменяя входное напряжение заполнить таблицу 1.1.
2. Измерение передаточных характеристик при $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ и $U_H = 3.6 \text{ В}$.
 - 2.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.4 выставите $U_H = 3.6 \text{ В}$
3. Измерение передаточных характеристик при $R_{H1} = 50 \text{ Ом}$ и $U_H = 5.2 \text{ В}$.
 - 3.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.4 выставите $U_H = 5.2 \text{ В}$
4. Измерение передаточных характеристик при $R_{H2} = 820 \text{ Ом}$ и $U_H = 2.5 \text{ В}$.
 - 4.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.2 подключите сопротивление нагрузки 820 Ом (SA4 в положении 15). В пункте 1.4 выставите $U_H = 2.5 \text{ В}$
5. Измерение передаточных характеристик при $R_{H2} = 820 \text{ Ом}$ и $U_H = 3.6 \text{ В}$.
 - 5.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.2 подключите сопротивление нагрузки 820 Ом (SA4 в положении 15). В пункте 1.4 выставите $U_H = 3.6 \text{ В}$
6. Измерение передаточных характеристик при $R_{H2} = 820 \text{ Ом}$ и $U_H = 5.2 \text{ В}$.
 - 6.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.2 подключите сопротивление нагрузки 820 Ом (SA4 в положении 15). В пункте 1.4 выставите $U_H = 5.2 \text{ В}$

1.3.2. Исследование нагрузочных характеристик $U_H = f(I_H)$

Нагрузочной характеристикой называют зависимость выходного

напряжения U_H от тока нагрузки I_H при постоянном входном напряжении U_{BX} , то есть

$$U_H = f(I_H) \text{ при } U_{BX} = const$$

Для получения нагрузочных характеристик с помощью кнопок SA4 путем переключения нагрузочных резисторов можно получить 15 пар значений U_H и I_H для каждого из значений входного напряжения U_{BX} . При каждом из них можно устанавливать различные значения выходного напряжения. С целью ограничения объема экспериментальных исследований без уменьшения информативности достаточно выбрать три значения входного напряжения U_{BX} : меньшее, которое составляет примерно 2,7 В, среднее, составляющее ~ 3,8 В, и максимальное ~ 5,2 В. При этом для каждого из приведенных величин входного напряжения значения выходного напряжения U_{H0} нужно устанавливать примерно равными 2,5 В, 3,6 В и 5,2 В, то есть значениям, использованным при исследовании регулировочных характеристик как минимальное, среднее и максимальное. Эти измерения нужно осуществлять с помощью цифрового мультиметра НМС 8012. Результаты измерений можно заносить в предварительно заготовленную в программе Word таблицу.

Таблица 1.2 – Результаты измерений нагрузочных характеристик $U_{BX} \cong 1.7\text{В}$ и $U_{ВЫХ0} \cong 2,5\text{В}$.

$N^{\circ}R_H$	1	2	3	...	13	14	15
$U_H, \text{В}$							
$I_H, \text{мА}$							

Порядок выполнения задания

1. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 2.7 \text{ В}$ и $U_H = 2.5 \text{ В}$.
 - 1.1. Динамическая нагрузка должна быть отключена (SA3, светодиод не горит).
 - 1.2. Подключить сопротивление нагрузки равное 820 Ом (SA4 в положении 1).
 - 1.3. Выставить входное напряжение равное 2.7 В (SA1 в положении 3).
 - 1.4. Изменяя выходное напряжение микросхемы (переключатель SA2), сделать его равным 2.5 В.
 - 1.5. Изменяя сопротивление нагрузки (SA4) заполнить таблицу 1.2.
2. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 2.7 \text{ В}$ и $U_H = 3.6 \text{ В}$.

- 2.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.4 выставите $U_H = 3.6$ В.
3. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 2.7$ В и $U_H = 5.2$ В.
- 3.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.4 выставите $U_H = 5.2$ В.
4. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 3.8$ В и $U_H = 2.5$ В.
- 4.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 3.8$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 2.5$ В.
5. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 3.8$ В и $U_H = 3.6$ В.
- 5.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 3.8$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 3.6$ В.
6. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 3.8$ В и $U_H = 5.2$ В.
- 6.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 3.8$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 5.2$ В.
7. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 5.2$ В и $U_H = 2.5$ В.
- 7.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 5.2$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 2.5$ В.
8. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 5.2$ В и $U_H = 3.6$ В.
- 8.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 5.2$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 3.6$ В.
9. Измерение нагрузочных характеристик при $U_{BX} = 5.2$ В и $U_H = 5.2$ В.
- 9.1. Повторите пункт 1. В пункте 1.3 выставите $U_{BX} = 5.2$ В. В пункте 1.4 выставите $U_H = 5.2$ В.

Нагрузочной характеристикой будет являться линия аппроксимации, построенная по полученным значениям, например, с помощью программы Excel.

Важно! Нельзя соединять точки линией. График строится с помощью аппроксимации. Обязательно на графике должна быть формула аппроксимирующей линии! Пример правильного построения нагрузочной характеристики с помощью аппроксимации представлен в **Приложении Б**.

1.4. Вопросы по лабораторной работе

- 1) Классификация DC/DC преобразователей. Основные различия и сферы применения.
- 2) Что такое передаточная характеристика? Что можно определить по передаточной характеристике?

- 3) Однотактная схема с накачкой заряда. Схема. Описание принципа работы. Выходные характеристики.
- 4) Конденсатор $C3$ в однотактной схеме с накачкой заряда. В какой фазе заряжается, а в какой разряжается.
- 5) Двухтактная схема с накачкой заряда. Схема. Описание принципа работы.
- 6) Когда конденсатор $C3$ в двухтактной схеме с накачкой заряда будет разряжаться?
- 7) Общие условия зарядки и разрядки конденсатора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОДНОФАЗНЫЙ НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

2.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование неуправляемых выпрямителей, а также экспериментальное исследование процессов при включении в схему различных пассивных сглаживающих фильтров.

2.2. Описание лабораторного макета

Принципиальная электрическая схема лабораторного макета представлена на рисунке 2.1, лицевая панель которого изображена на рисунке 2.2

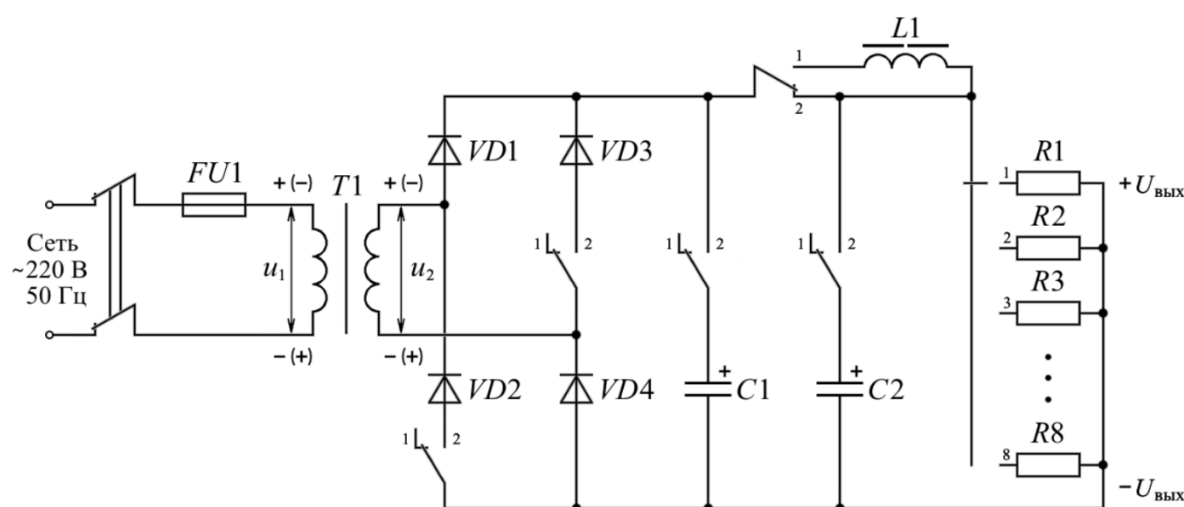


Рисунок 2.1 - Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования однофазных выпрямителей, работающих на резистивную, резистивно-емкостную и резистивно-индуктивную нагрузку

В лабораторном макете предусмотрена возможность перестраиваемого изменения схемы выпрямителя. Ключи $VD2$ и $VD3$ отвечают за переключение между схемами однофазного однотактного и двухтактного выпрямителей. Кроме того, диод $VD3$ еще используется в лабораторном макете как обратный диод, для исследования индуктивного фильтра.

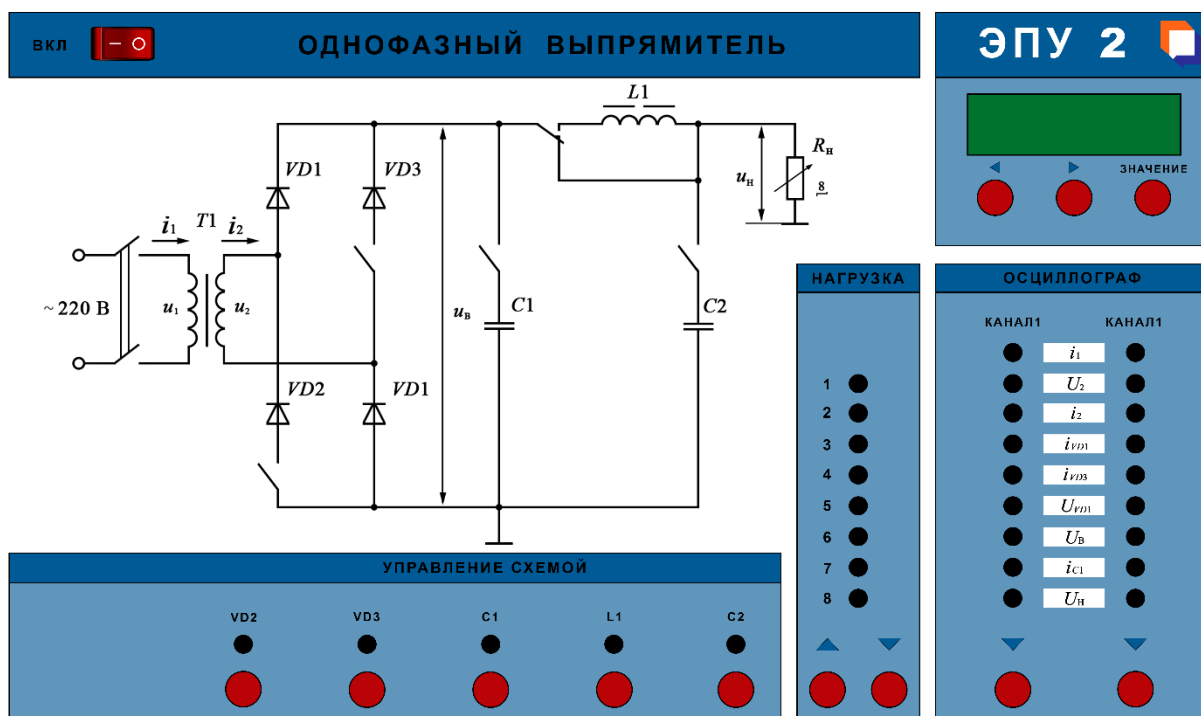


Рисунок 2.2 – Лицевая панель лабораторного макета

На лицевой панели лабораторного макета размещен раздел с упрощенной принципиальной электрической схемой управления лабораторным макетом, а также несколько разделов управления с соответствующими им элементами индикации: кнопку включения лабораторного макета (в левом верхнем углу) и разделы «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ», «НАГРУЗКА», «ОСЦИЛЛОГРАФ», а также встроенный мультиметр для вывода значений токов и напряжений на дисплей, расположенный в правом верхнем углу макета.

Раздел «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ» отвечает за коммутацию определенных элементов схемы. Для каждого ключа используется отдельная кнопка с светодиодным индикатором. Светодиодная индикация появляется при подключении выбранного элемента соответствующей ему кнопкой. При отсутствии индикации – элемент к схеме не подключен.

Раздел «НАГРУЗКА» позволяет подключать один из восьми нагрузочных резисторов к схеме.

Раздел «ОСЦИЛЛОГРАФ» содержит элементы управления для переключения между сигналами, подаваемыми на два вывода, для подключения внешнего осциллографа (разъемы СР-50 на задней стенке макета). Наличие двух каналов вывода позволяет одновременно наблюдать формы токов и

напряжений в различных точках схемы: тока первичной обмотки i_1 ; напряжения на вторичной обмотке трансформатора u_2 ; тока вторичной обмотки трансформатора i_2 ; тока i_{VD1} , протекающего через диод $VD1$; тока i_{VD3} , протекающего через диод $VD3$; напряжения u_{VD1} на диоде $VD1$; выпрямленного напряжения до сглаживающего фильтра u_B ; тока i_{C1} , протекающего через конденсатор $C1$; напряжения на нагрузке u_H .

Лабораторный макет, помимо исследуемого выпрямителя, содержит встроенный мультиметр для измерения амплитуды, среднеквадратического (действующего или эффективного) значения и постоянной составляющей токов i_1 , i_2 , i_H и напряжений u_2 , u_B , $u_{\text{вых}}$. Выбор режима измерения производится нажатием кнопки «значение», а переключение между токами и напряжениями с помощью кнопок вправо и влево.

2.3. Программа выполнения работы

Комплектация экспериментального стенда содержит: лабораторный макет, осциллограф R&S RTB2002 и компьютер.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с лабораторным макетом «ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ», изучить его лицевую панель, гнезда для подключения осциллографа на задней панели и кнопки управления.

Сопоставьте принципиальную схему макета, показанную на рисунке 2.1, со схемой, имеющейся на макете.

Соединить с помощью коаксиальных кабелей «вых.1» макета с первым каналом осциллографа R&S RTB2002 «Ch 1» и «вых.2» со вторым каналом «Ch 2». Убедиться в правильности подключения макета. После этого включить осциллограф, лабораторный макет и компьютер.

2.3.1. Исследование однотактного выпрямителя с сглаживающими фильтрами

Для исследования однотактного выпрямителя ключи, соответствующие диодам $VD2$ и $VD3$, должны быть выключены. Следовательно, светодиоды $VD2$ и $VD3$ не горят.

Выпрямительное устройство без фильтра

Все ключи в схеме должны быть отключены (светодиоды в разделе

«УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ» не горят). Выберите любое одно положение нагрузки с 2 по 8. Далее нагрузка не будет изменяться вплоть до последнего пункта лабораторной работы.

Зарегистрируйте осциллограммы токов и напряжений: u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} и $u_{\text{вых}}$. Процесс сохранения и составления осциллограмм описан в **Приложении А**.

Выпрямительное устройство с емкостным фильтром

Подключите конденсатор $C1$ к схеме с помощью соответствующей кнопки в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что светодиод $C1$ горит, а все остальные нет. Составьте осциллограммы u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} , i_{C1} и $u_{\text{вых}}$ аналогично предыдущему подпункту работы.

Выпрямительное устройство с индуктивным фильтром

Подключите дроссель $L1$ и отключите конденсатор $C1$ с помощью соответствующих кнопок в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что светодиод $L1$ горит, а все остальные нет.

Составьте осциллограммы u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} , u_B и $u_{\text{вых}}$ аналогично предыдущему подпункту работы.

Выпрямительное устройство с Г-образным фильтром

Подключите конденсатор $C2$ к схеме с помощью соответствующей кнопки в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что светодиоды $C2$ и $L1$ горят, а все остальные нет. Составьте осциллограммы u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} , u_B и $u_{\text{вых}}$ аналогично предыдущему подпункту работы.

Выпрямительное устройство с П-образным фильтром

Подключите конденсатор $C1$ к схеме с помощью соответствующей кнопки в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что светодиоды $C1$, $C2$ и $L1$ горят, а все остальные нет. Составьте осциллограммы u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} , i_{C1} , u_B и $u_{\text{вых}}$ аналогично предыдущему подпункту работы.

Выпрямительное устройство с индуктивным фильтром и обратным диодом

Подключите диод $VD3$ и отключите конденсаторы $C1$ и $C2$ с помощью соответствующих кнопок в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что

светодиоды $VD3$ и $L1$ горят, а все остальные нет. Составьте осциллограммы u_2 , i_{VD1} , u_{VD1} , i_{VD3} , u_B и $u_{\text{вых}}$ аналогично предыдущему подпункту работы.

2.3.2. Исследование мостового выпрямителя с сглаживающими фильтрами

Установите все ключи в блоке «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ» в выключенное положение. Подключите диоды $VD2$ и $VD3$ к схеме с помощью соответствующих кнопок в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Проведите исследования по программе, аналогичной пп. 1, 2, 3, 4 и 5 предыдущего параграфа, за исключением пп. 6 с индуктивным фильтром и обратным диодом. При выполнении данного пункта диоды $VD2$ и $VD3$ должны быть всегда включенными.

2.3.3. Исследование нагрузочных характеристик

Нагрузочной характеристикой называют зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от тока нагрузки I_H при постоянном входном напряжении $U_{\text{вх}}$, то есть

$$U_{\text{вых}} = f(I_H) \text{ при } U_{\text{вх}} = \text{const.}$$

Изменяя сопротивление нагрузки (блок нагрузки), снимите нагрузочные характеристики следующих устройств и результаты внесите в таблицу 2.1:

- однотактного выпрямителя без фильтра;
- однотактного выпрямителя с емкостным фильтром;
- однотактного выпрямителя с индуктивным фильтром и обратным диодом;
- мостового выпрямителя без фильтров;
- мостового выпрямителя с индуктивным фильтром;
- мостового выпрямителя с П-образным фильтром.

Таблица 2.1 – Результаты измерений нагрузочных характеристик.

№ R_H	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{\text{вых}}, \text{В}$								
$I_H, \text{мА}$								

Порядок выполнения задания

1. Для выполнения задания выполнить коммутацию (переключение) для получения исследуемой схемы;
2. Подготовьте таблицы для записи полученных результатов на компьютере;
3. Необходимые значения токов и напряжений следует снимать с ЖК-дисплея, расположенного в правом верхнем углу лабораторного макета, а кнопками управления под ним выбирают нужные параметры;
4. Выберите «Действующее значение» и ток нагрузки I_n ;
5. Изменяя положение переключателя «НАГРУЗКА» на лабораторном макете, заполните верхнюю строку таблицы 2.1 для тока нагрузки I_n ;
6. Затем измените исследуемый параметр с тока нагрузки I_n на напряжение нагрузки U_n на лабораторном макете;
7. Изменяя положение переключателя «нагрузка» в обратном направлении, заполните нижнюю строку таблицы 2.1 для напряжения нагрузки U_n .

Повторите процедуры для всех исследуемых схем.

Нагрузочной характеристикой будет являться линия аппроксимации, полученная методом наименьших квадратов, например, с помощью программы Excel.

Важно! Нельзя соединять точки линией. График строится с помощью аппроксимации. Обязательно на графике должна быть формула аппроксимирующей линии! Пример правильного построения нагрузочной характеристики с помощью аппроксимации представлен в **Приложении Б**.

В отчете на одном графике можно объединить нагрузочные характеристики для одного типа выпрямительного устройства, т.е. один график с тремя характеристиками для однотактного выпрямителя и один график с тремя характеристиками для мостовой схемы.

2.4. Вопросы по лабораторной работе

- 1) Какой Г-образный фильтр следует выбрать $C1 - L1$ или $L1 - C2$ и почему? Ответ аргументируйте осциллограммами.

- 2) Для чего нужен обратный диод $VD3$ в индуктивном фильтре с обратным диодом? Чем режим работы этого устройства отличается от режима работы индуктивного фильтра без обратного диода?
- 3) В какой ситуации целесообразно выбрать схему однофазного однократного выпрямителя без сглаживающего фильтра и в чём это устройство лучше всех остальных схем?
- 4) Можно ли использовать емкостной сглаживающий фильтр для нагрузки большой мощности? Ответ аргументируйте.
- 5) Что такое нагрузочная характеристика устройства? Что можно определить по нагрузочной характеристике?
- 6) Что показывает коэффициент пульсаций сглаживающего фильтра? Всегда ли стоит выбирать устройство с минимальным коэффициентом пульсаций? Ответ аргументируйте.
- 7) Как влияет емкостной характер нагрузки на режим работы выпрямительных диодов? На что стоит обратить особое внимание? Ответ аргументируйте осциллограммами.
- 8) Почему П-образный фильтр хуже Г-образного для выпрямительного устройства? В чем это проявляется?
- 9) Можно ли использовать индуктивный сглаживающий фильтр для мощного электрического двигателя? Ответ аргументируйте.
- 10) Для чего нужны выходные сглаживающие фильтры? В чем их достоинства и какие у них недостатки?
- 11) Для каких устройств лучше всего выбрать самое сложное устройство с максимальным коэффициентом сглаживания пульсаций? Приведите примеры.
- 12) Достоинства и недостатки мостовой схемы выпрямителя перед однократной?
- 13) Чем отличается пассивный сглаживающий фильтр от активного? Основные преимущества пассивного фильтра перед активным?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ С ВОЛЬТОДОБАВКОЙ

3.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование неуправляемых выпрямителей, а также экспериментальное исследование процессов при включении в схему различных пассивных сглаживающих фильтров.

3.2. Описание лабораторного макета

Принципиальная электрическая схема лабораторного макета представлена на рисунке 3.1, лицевая панель макета изображена на рисунке 3.2

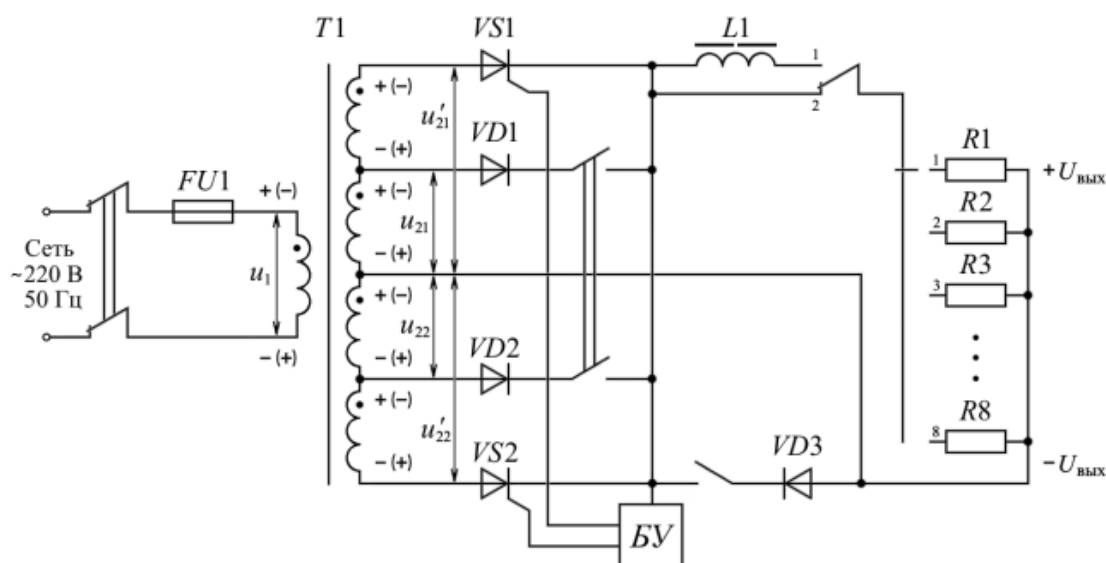


Рисунок 3.1 - Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования однофазных выпрямителей, работающих на резистивную, резистивно-емкостную и резистивно-индуктивную нагрузку

В макете предусмотрена возможность перестраиваемого изменения схемы выпрямителя. Ключ $VD1$, $VD3$ отвечают за переключение между схемами двухфазного двухтактного выпрямителей без вольтодобавочной секции и с ней. Кроме того, диод $VD3$ используется в лабораторном макете как обратный диод, для исследования индуктивного фильтра.

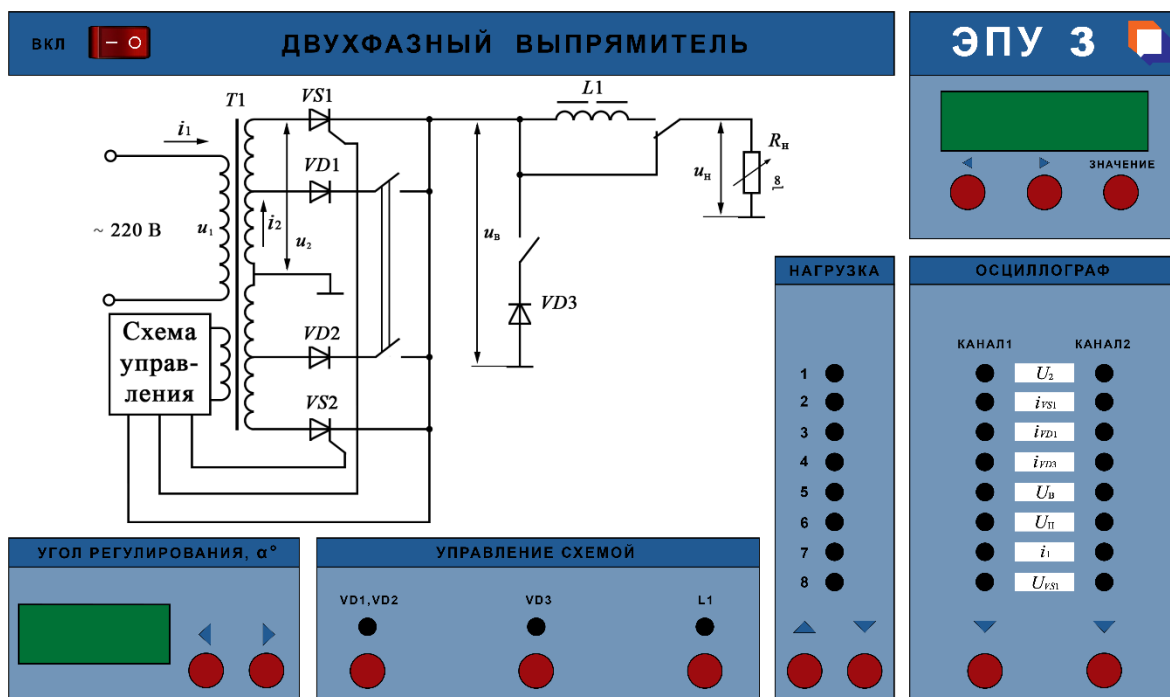


Рисунок 3.2 – Лицевая панель лабораторного макета

На лицевой панели лабораторного макета размещен раздел с упрощенной принципиальной электрической схемой управления лабораторным макетом, а также несколько разделов управления с соответствующими им элементами индикации: кнопку включения лабораторного макета (в левом верхнем углу) и разделы «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ», «НАГРУЗКА», «ОСЦИЛЛОГРАФ», а также встроенный мультиметр для вывода различных значений токов и напряжений на дисплей, расположенный в правом верхнем углу макета.

«УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ» отвечает за коммутацию определенных элементов схемы. Для каждого ключа используется отдельная кнопка с светодиодным индикатором. Светодиодная индикация появляется при подключении элемента соответственным ему ключом. При отсутствии индикации – элемент к схеме не подключен.

«НАГРУЗКА» позволяет подключать один из восьми нагрузочных резисторов к схеме.

«УГОЛ РЕГУЛИРОВАНИЯ» позволять менять моменты времени включения тиристоров $VS1$ и $VS2$, тем самым меняя средневывпрямленное напряжение выпрямителя.

«ОСЦИЛЛОГРАФ» содержит элементы управления для переключения между сигналами, подаваемыми на два вывода, для подключения внешнего

осциллографа (разъемы СР-50 на задней стенке макета). Наличие двух каналов вывода позволяет одновременно наблюдать формы токов и напряжений в различных точках схемы: напряжения на вторичной обмотке трансформатора u_2 ; тока i_{VS1} , протекающего через тиристор $VS1$; токов i_{VD1} и i_{VD3} , протекающего через диоды $VD1$ и $VD3$ соответственно; выпрямленного напряжения до сглаживающего фильтра u_B ; напряжения на нагрузке u_H ; тока первичной обмотки i_1 ; ; напряжения на тиристоре $VS1$ u_{VS1} ;

Лабораторный макет, помимо исследуемого выпрямителя, содержит встроенный мультиметр для измерения амплитуды, среднеквадратического (действующего или эффективного) значения и постоянной составляющей токов i_1 , i_2 , i_H и напряжений u_2 , u_B , $u_{вых}$. Выбор режима измерения производится нажатием кнопки «значение», а переключение между токами и напряжениями с помощью кнопок вправо и влево.

3.3. Программа выполнения работы

В комплектацию экспериментального стенда содержит: лабораторный макет, осциллограф и компьютер.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с экспериментальным стендом «ДВУХФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ», изучить его лицевую панель, гнезда для подключения измерительного оборудования на задней панели и кнопки управления.

Соединить с помощью коаксиальных кабелей «вых.1» макета с первым каналом осциллографа R&S RTB2002 «Ch 1» и «вых.2» со вторым каналом «Ch 2». Проверить надежность соединения осциллографа и макета. (Ключ, расположенный на приборном гнезде при правильном подключении попасть в специальный паз на штекере). Убедиться в правильности подключения макета.

После этого включить осциллограф, лабораторный макет и компьютер. Сопоставьте функциональную схему макета, показанную на рисунке 3.2, со схемой, имеющейся на макете.

3.3.1. Исследование двухтактного выпрямителя

Для исследования однотактного выпрямителя ключи, соответствующие диодам $VD1$, $VD2$ и $VD3$, должны быть выключены. Следовательно, светодиоды не горят.

Выпрямительное устройство без фильтра

Все ключи в схеме должны быть отключены (светодиоды в разделе «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ» не горят). Выберите любое одно положение нагрузки с 2 по 8. Установите угол регулирования $\alpha = 0^\circ$, пользуясь кнопками вправо и влево на вправо в разделе «УГОЛ РЕГУЛИРОВАНИЯ»

Составьте осциллограммы токов и напряжений выпрямительного устройства, работающего на резистивную нагрузку при разных углах регулирования $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ и 175° . Опишите возникающие изменения с пояснениями. Для этого необходимо сохранить следующие осциллограммы: u_2 , i_{VS1} , u_{VS1} и u_H . Процесс сохранения и составления осциллограмм описан в **Приложении А**.

Исследование управляемого выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром и обратным диодом

Подключите сглаживающий фильтр $L1$ и обратный диод $VD3$ к схеме с помощью соответствующей кнопки в «УПРАВЛЕНИЕ СХЕМОЙ». Убедитесь, что светодиоды $L1$ и $VD3$ горят, а все остальные нет. Составьте временные характеристики u_2 , i_{VS1} , i_{VD1} , u_B , u_{VS1} и u_H аналогично предыдущему подпункту работы для углов регулирования $\alpha = 0^\circ, 60^\circ$ и 135° .

3.3.2. Исследование нагрузочных характеристик

Нагрузочной характеристикой называют зависимость выходного напряжения U_H от тока нагрузки I_H при постоянном входном напряжении U_{BX} , то есть

$$U_H = f(I_H) \text{ при } U_{BX} = const$$

Изменяя сопротивление нагрузки (блок нагрузки), снимите нагрузочные характеристики следующих устройств и результаты внесите в таблицу 3.1 (угол регулирования выставить неизменным $\alpha = 90^\circ$):

- управляемого выпрямителя;
- управляемого выпрямителя с индуктивным фильтром и обратным диодом;
- управляемого выпрямителя с вольтодобавкой;

Таблица 3.1 – Результаты измерений нагрузочных характеристик.

$N^{\circ}R_n$	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_n, В$								
$I_n, мА$								

Порядок выполнения задания

1. Для выполнения задания выполнить коммутацию (переключение) для получения исследуемой схемы;
2. Подготовьте таблицы для записи полученных результатов на компьютере;
3. Необходимые значения следует снимать с ЖК-дисплея на лабораторном макете, расположенном в правом верхнем углу, а кнопками управления под ним выбирают нужные параметры;
4. Выберите «Действующее значение» и ток нагрузки I_n ;
5. Изменяя положение переключателя «НАГРУЗКА» на лабораторном макете, заполните верхнюю строку таблицы 3.1 для тока нагрузки I_n ;
6. Затем измените исследуемый параметр с тока нагрузки I_n на напряжение нагрузки U_n на лабораторном макете;
7. Изменяя положение переключателя «нагрузка» в обратном направлении, заполните нижнюю строку таблицы 3.1 для напряжения нагрузки U_n .

Повторите процедуры для всех исследуемых схем.

Нагрузочной характеристикой будет являться линия аппроксимации, построенная по полученным значениям, например, с помощью программы Excel.

Важно! Нельзя соединять точки линией. График строится с помощью аппроксимации. Обязательно на графике должна быть формула аппроксимирующей линии! Пример правильного построения нагрузочной характеристики с помощью аппроксимации представлен в **Приложении Б**.

В отчете на одном графике можно объединить нагрузочные характеристики для одного типа выпрямительного устройства, т.е. один график с

тремя характеристиками для однотактного выпрямителя и один график с тремя характеристиками для мостовой схемы.

3.3.3. Исследование регулировочных характеристик

Регулировочная характеристика определяет влияние угла управления на среднее выпрямленное напряжение нагрузки при постоянном токе нагрузки, то есть

$$U_H = f(\alpha) \text{ при } I_H = \text{const}$$

Изменяя угол регулирования α , снимите регулировочные характеристики следующих устройств и результаты внесите в таблицу 3.2 (нагрузку выставить неизменной):

- управляемого выпрямителя;
- управляемого выпрямителя с индуктивным фильтром и обратным диодом;
- управляемого выпрямителя с вольтодобавкой;

Таблица 3.2 – Результаты измерений регулировочных характеристик.

α°	0	10	20	30	...	160	170	175
$U_H, \text{В}$								

Порядок выполнения задания аналогичен предыдущему пункту, только вместо сопротивления нагрузки изменяют угол регулирования, а нагрузка остается постоянной. Регулировочной характеристикой будет являться линия аппроксимации. В отчете можно построить на одном графике все три характеристики.

3.4. Вопросы по лабораторной работе

- 1) Что такое тринистор? Нарисуйте ВАХ тринистора и объясните принцип его работы.
- 2) Что такое угол регулирования α ? Как он влияет на режим работы управляемого выпрямителя? Ответ аргументируйте осциллограммами.
- 3) Почему закрывается диод $VD1$ в момент открывания тринистора $VS1$ при угле регулирования меньше 180° ?

- 4) Что такое нагрузочная характеристика устройства? Что можно определить по нагрузочной характеристике?
- 5) Что такое регулировочная характеристика? Чем отличаются регулировочные характеристики управляемого выпрямителя с вольтодобавкой и без вольтодобавки?
- 6) Для чего нужен выходной сглаживающий фильтр? Для чего нужен обратный диод $VD3$? Какое влияние оказывает сглаживающий фильтр на напряжение нагрузки?
- 7) Объясните работу управляемого выпрямителя с вольтодобавкой по рисунку 3.1 при угле регулирования $\alpha = 90^\circ$. При ответе используйте полученные осциллограммы.
- 8) По Вашему мнению, где может использоваться управляемый выпрямитель с вольтодобавкой? Приведите примеры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

4.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием, а также исследование его основных характеристик и параметров.

4.2. Описание лабораторного макета

Лицевая панель которого изображена на рисунке 4.1, принципиальная электрическая схема лабораторного макета представлена на рисунке 4.2.

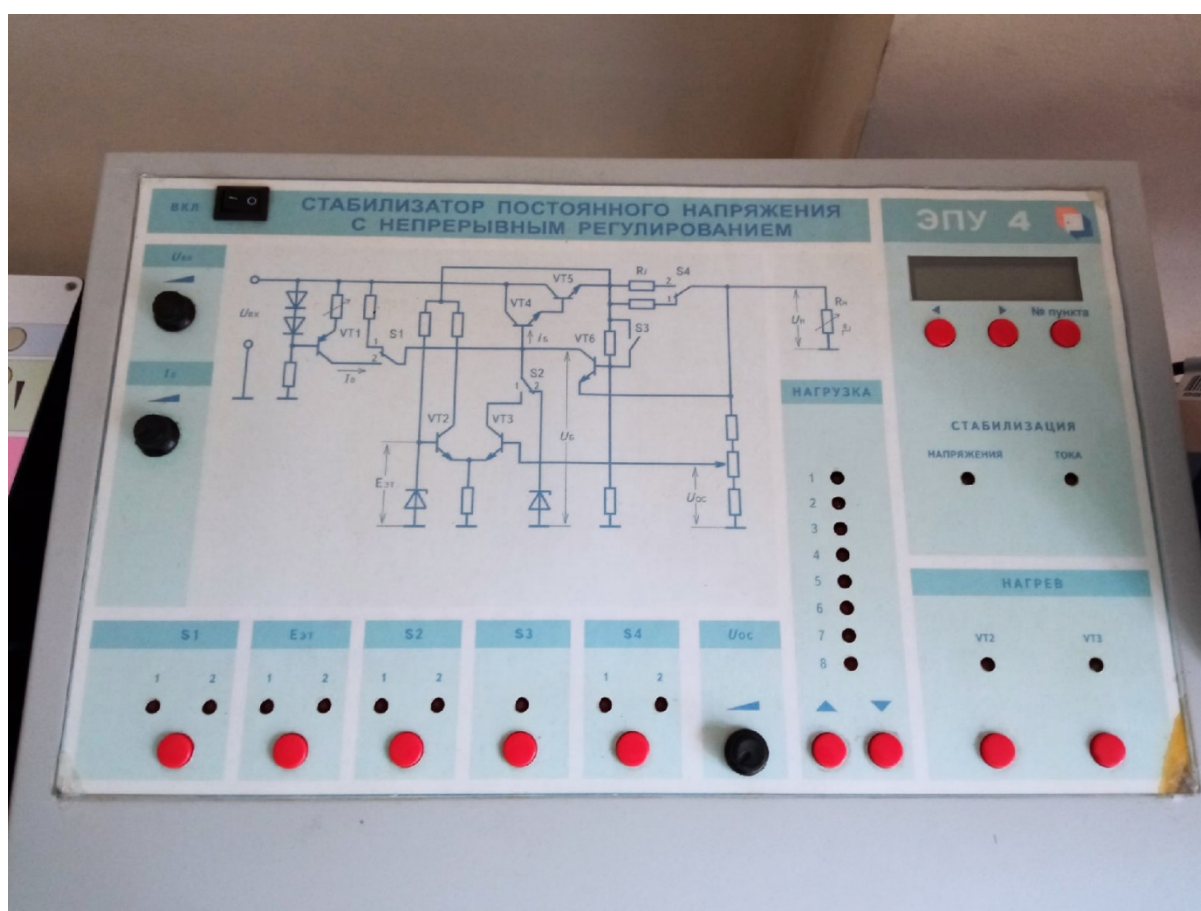


Рисунок 4.1 – Лицевая панель лабораторного макета (НАРИСОВАТЬ ЛИЦ. ПАНЕЛЬ)

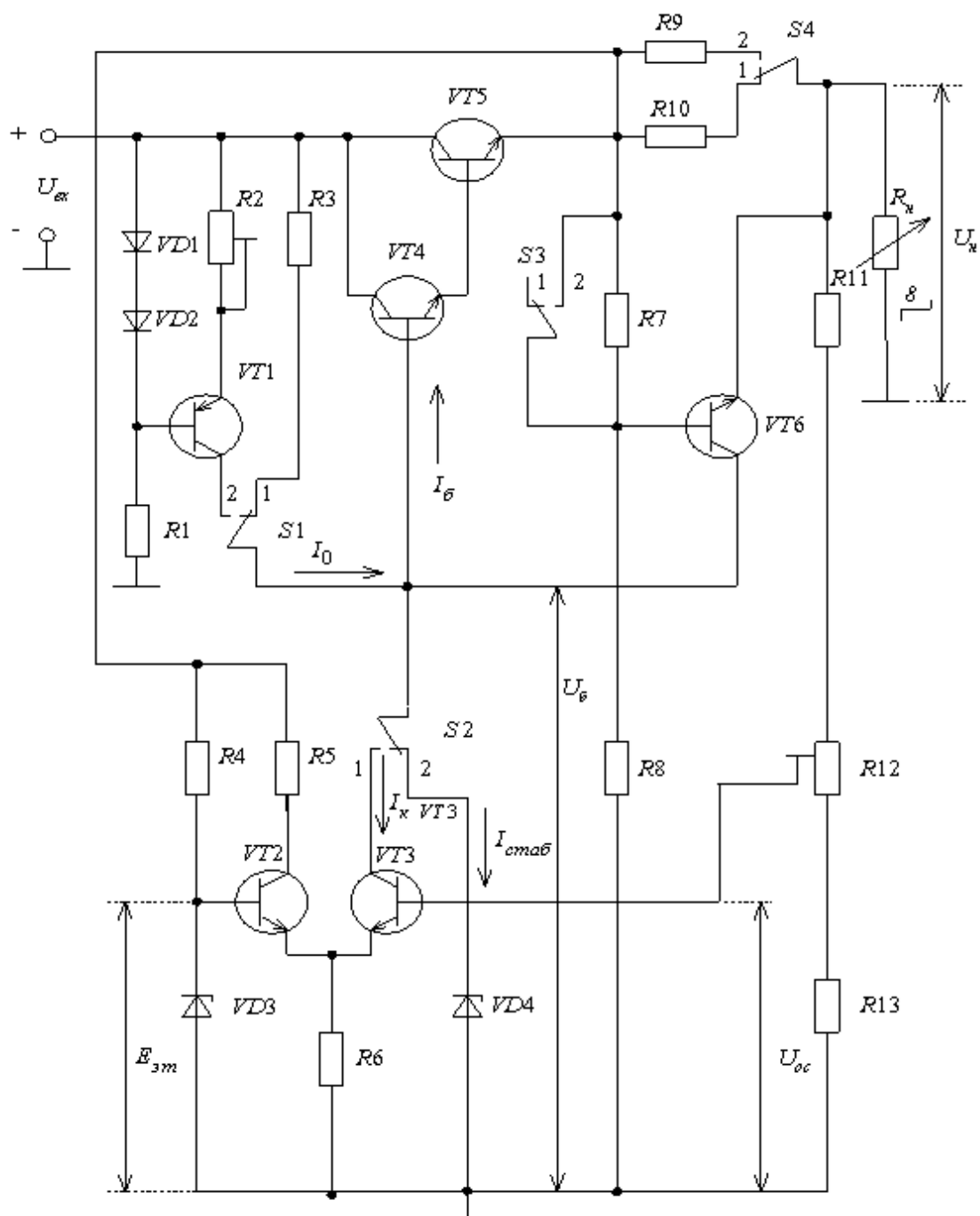


Рисунок 4.2 - Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием

Лабораторный макет состоит из исследуемого устройства, универсального мультиметра и встроенного блока питания.

В качестве регулирующего элемента используется биполярный транзистор $VT5$. Вместе с транзистором $VT4$ он образует составной транзистор, использование которого обеспечивает увеличение коэффициента усиления

регулирующего элемента и уменьшение требуемого значения выходного тока усилителя постоянного тока (УПТ).

Рабочая точка на коллекторной характеристике регулирующего транзистора находится на линейном участке. По этой причине компенсационные стабилизаторы напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием часто называют линейными стабилизаторами. В роли УПТ и схемы сравнения выступает дифференциальный усилительный каскад на транзисторах VT2 и VT3.

Нагрузкой УПТ может быть линейный резистор R3 (переключатель S1 в положении 1) или нелинейный двухполусник с большим динамическим сопротивлением (генератор стабильного тока) на транзисторе VT1 (S1 в положении 2).

На один из входов дифференциального усилителя (база транзистора VT2) подключен источник эталонного напряжения $E_{\text{эт}}$, реализованный параметрическим стабилизатором напряжения (стабилитрон VD3 и гасящий резистор R4). На другой вход усилителя через резистивный делитель R11, R12 и R13 выходного напряжения $U_{\text{н}}$ подается напряжение обратной связи $U_{\text{ос}}$, пропорциональное выходному напряжению $U_{\text{ос}} = \beta U_{\text{н}}$, где β - коэффициент деления делителя.

В лабораторном макете предусмотрена возможность построения стабилизатора и без УПТ. В этом случае переключателем S2 база транзистора VT4 подключается не к коллекторной цепи транзистора VT3, а к стабилитрону VD4.

При этом резистор R3 или генератор стабильного тока на транзисторе VT1 (в зависимости от положения переключателя S1) выполняют функции гасящего резистора параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне VD4.

В линейном стабилизаторе установлена защита от перегрузки по току. Последовательно с нагрузкой $R_{\text{н}}$ включен резистор R9 или R10 (в зависимости от положения переключателя S4), который выполняет функции датчика тока нагрузки $R_{\text{н}}$. Когда ток нагрузки создает на резисторе R9 или R10 ($R9 = 2.4 \text{ Ом}$, $R10 = 3.3 \text{ Ом}$) падение напряжения, превышающее напряжение отпирания транзистора VT6 (при замкнутом положении переключателя S3 – индикатор S3 **не подсвечивается**), транзистор VT6 открывается.

Увеличение коллекторного тока транзистора VT6 приводит к уменьше-

нию тока базы транзистора $VT4$ и к увеличению сопротивления регулирующего транзистора $VT5$. А это означает возрастание падения напряжения $U_{кз}$ на регулирующем транзисторе. Следствием этого будет уменьшение выходного напряжения U_n . Переключение резисторов $R9$, $R10$ изменяет значение силы тока нагрузки I_n , при которой происходит срабатывание схемы защиты. Размыкание ключа $S3$ (индикатор $S3$ **подсвечивается**) вводит в цепь “база – эмиттер” транзистора $VT6$ падение напряжения на резисторе $R7$, которое пропорционально выходному напряжению U_n . Это дополнительное напряжение увеличивает порог срабатывания защиты по току нагрузки.

Для исследования явления температурного дрейфа выходного напряжения U_n при изменении температуры элементов схемы в макете предусмотрена возможность независимого нагрева корпусов транзисторов $VT2$ и $VT3$.

Все переключения в схеме осуществляются встроенными коммутаторами (переключателями), расположенными на лицевой панели стенда. Состояние коммутаторов визуализируется светодиодными индикаторами. Кроме того, на лицевой панели расположены потенциометры, позволяющие регулировать уровень входного напряжения $U_{вх}$ стабилизатора, силу тока токостабилизирующего двухполюсника и коэффициент передачи в цепи обратной связи рассматриваемого стабилизатора напряжения.

На лицевой панели лабораторного макета размещен раздел с упрощенной принципиальной электрической схемой управления лабораторным макетом, а также несколько разделов управления с соответствующими им элементами индикации: кнопку включения лабораторного макета (в левом верхнем углу) и разделы управления схемой « $U_{вх}$ », « I_0 », « $S1$ », « $S2$ », « $S3$ », « $E_{эТ}$ », « $U_{ос}$ », «НАГРУЗКА», «нагрев», а также встроенный мультиметр для вывода значений токов и напряжений на дисплей, расположенный в правом верхнем углу макета.

Раздел « $U_{вх}$ » и « I_0 » предназначены для управления величиной входного напряжения $U_{вх}$ и силой тока I_0 соответственно.

Разделы « $S1$ », « $S2$ », « $S3$ », « $S4$ », « $E_{эТ}$ » отвечают за коммутацию определенных элементов схемы. Для каждого ключа используется отдельная кнопка с светодиодным индикатором. Светодиодная индикация появляется при подключении выбранного элемента соответствующей ему кнопкой. В случае с одним индикатором, при отсутствии индикации – элемент к схеме не подключен.

Раздел « U_{oc} » - орган управления потенциометром R_{12} на принципиальной схеме лабораторного макета и определяет величину напряжения обратной связи.

Раздел «НАГРУЗКА» позволяет подключать один из восьми нагрузочных резисторов к схеме.

Раздел «НАГРЕВ» позволяет осуществлять нагрев некоторых элементов схемы, для наблюдения за изменением характеристик при разных термических условиях.

Лабораторный макет, помимо исследуемых схем, содержит встроенный мультиметр для измерения постоянной составляющей (среднего значения) токов I_6 , I_0 и напряжений U_H , U_6 . Выбор режима измерения производится нажатием кнопки «№ пункта», а переключение между токами и напряжениями с помощью кнопок вправо и влево.

4.3. Программа выполнения работы

Комплектация экспериментального стенда содержит: лабораторный макет и компьютер.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с лабораторным макетом «ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ», изучить его лицевую панель.

Сопоставьте принципиальную схему макета, показанную на рисунке 4.1, со схемой, имеющейся на макете. После этого включить лабораторный макет и компьютер.

4.3.1 Исследование линейного стабилизатора напряжения без УПТ и с линейным гасящим (балластным) резистором

Переключатели установить в следующие положения: S_1 - 1, S_2 - 2, S_3 - «Вкл» (индикатор не горит), S_4 - 2, $E_{эт}$ - 1. $U_{вх}$ установите в диапазоне 10 ... 12 В. Выставите на дисплее, с помощью кнопки «№ пункта» п.1.2.

Снимите зависимости токов I_6 , I_0 и напряжений U_H , U_6 от тока нагрузки I_H , изменяемого переключением сопротивления нагрузки R_H . Входное напряжение $U_{вх}$ стабилизатора при этом не изменять. Заполните таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений нагрузочных характеристик

$I_H, \text{мА}$								
$U_H, \text{В}$								
$U_6, \text{В}$								
$I_6, \text{мА}$								
$I_0, \text{мА}$								

Определите динамическое сопротивление R_i стабилизатора.

4.3.2. Исследование линейного стабилизатора напряжения без УПТ и с нелинейным гасящим резистором

Переключатели установить в следующие положения: S1 - 2, S2 - 2, S3 - “Вкл” (индикатор не горит), S4 - 2, $E_{эТ}$ - 1. $U_{вх}$ установите в диапазоне 10 ... 12 В. Выставьте на дисплее, с помощью кнопки «№ пункта» п.2.2.

Потенциометром R2 установить ток I_0 близким к значению, полученному в предыдущем пункте при номинальном токе нагрузки (положение 6 переключателя R_H). В случае, если это невозможно выполнить, то установить минимальное значение I_0 .

Повторить исследования, описанные в предыдущем пункте.

4.3.3. Исследование линейного стабилизатора напряжения с УПТ в цепи обратной связи и линейной нагрузкой УПТ

Переключатели установить в следующие положения: S1 - 1, S2 - 1, S3 - “Вкл” (индикатор не горит), S4 - 2, $E_{эТ}$ - 2. Выставьте на дисплее, с помощью кнопки «№ пункта» п.3.2.

Потенциометром R12 установить выходное напряжение $U_{вх}$ стабилизатора в диапазоне 5...6 В. Если это невозможно выполнить, то использовать значение выходного напряжения $U_{вх}$ при максимальном напряжении $U_{ос}$ обратной связи.

$U_{вх}$ установите в диапазоне 10 ... 12 В.

Повторить исследования, описанные в пункте 4.3.1 работы.

4.3.4. Исследование линейного стабилизатора напряжения с УПТ в цепи обратной связи и с токостабилизирующим двухполюсником в цепи нагрузки УПТ

Переключатели установить в следующие положения: S1 - 2, S2 - 1, S3 - “Вкл” (индикатор не горит), S4 - 2, $E_{эТ}$ - 2. $U_{вх}$ установите в диапазоне 10

... 12 В. Выставьте на дисплее, с помощью кнопки «№ пункта» п.4.2.

Потенциометром R2 установить ток I_0 близким к значению, полученному в пункте 4.3.2 при номинальном токе нагрузки (положение 6 переключателя R_H). В случае, если это невозможно выполнить, то установить минимальное значение I_0 .

Повторить исследования, описанные в пункте 4.3.1 работы.

4.3.5 Исследование схемы защиты стабилизатора

Переключатели установить в следующие положения: S1 - произвольное, S2 - 1, $E_{эТ}$ - 2. Выставьте на дисплее, с помощью кнопки «№ пункта» п.5.2.

С помощью потенциометра R12 получить максимальное значение выходного напряжения U_H . Снять нагрузочные характеристики стабилизатора и построить графики для следующих вариантов схемы защиты:

–высокое сопротивление датчика тока (резистор R10) и отсутствие связи по напряжению (переключатели S3 – “Вкл” (индикатор не горит), S4 в положении 1);

–низкое сопротивление датчика тока (резистор R9) и отсутствие связи по напряжению (переключатели S3 – “Вкл” (индикатор не горит), S4 в положении 2);

–низкое сопротивление датчика тока (резистор R9) и наличие связи по напряжению (переключатели S3 – “Выкл” (индикатор горит), S4 в положении 2).

5.1. Цель работы

5.2. Описание лабораторного макета

Рисунок 5.1 - Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования преобразователей и стабилизаторов напряжения постоянного тока с импульсным регулированием

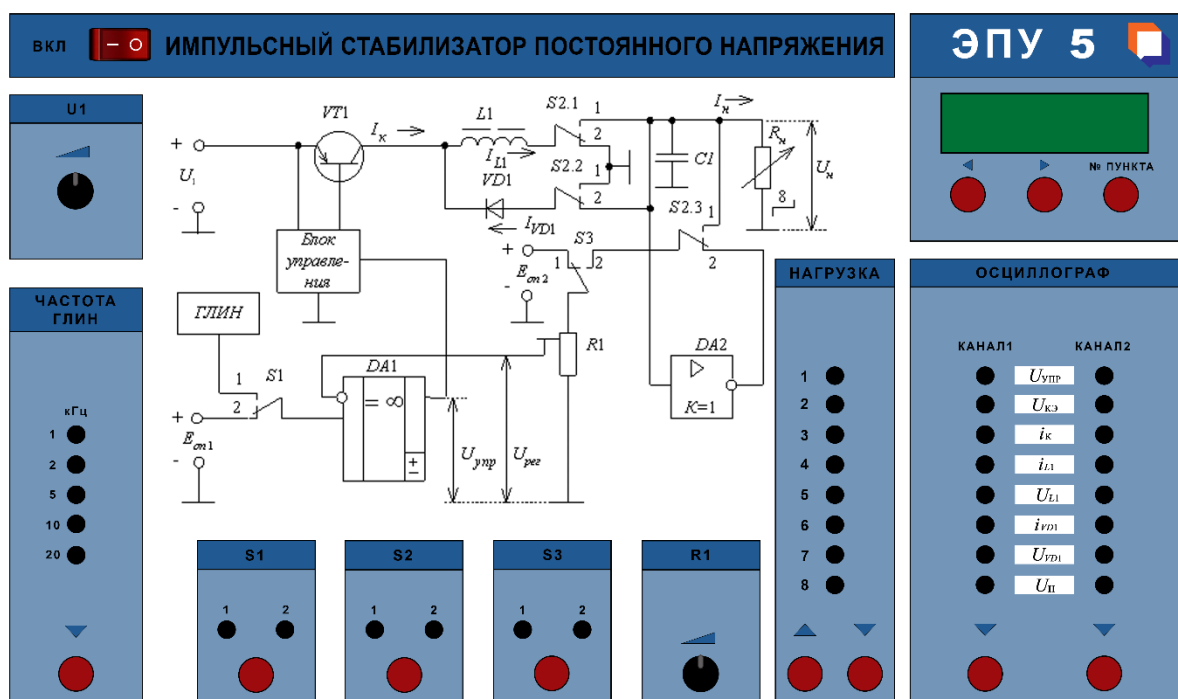


Рисунок 5.2 – Лицевая панель лабораторного макета

На лицевой панели лабораторного макета размещен раздел с упрощенной принципиальной электрической схемой управления лабораторным макетом, а также несколько разделов управления с соответствующими им элементами индикации: кнопку включения лабораторного макета (в левом верхнем углу) и разделы управления схемой «U1», «ЧАСТОТА ГЛИН», «S1», «S2», «S3», «R1» «НАГРУЗКА», «ОСЦИЛЛОГРАФ», а также встроенный мультиметр для вывода значений токов и напряжений на дисплей, расположенный в правом верхнем углу макета.

Раздел «U1» предназначен для управления величиной входного напряжения.

Раздел «ЧАСТОТА ГЛИН» позволяет изменять частоту, с которой работает генератор линейно-изменяемого напряжения, при этом установленная частота обозначается соответствующим светодиодом.

Разделы «S1», «S2» и «S3» отвечают за коммутацию определенных элементов схемы. Для каждого ключа используется отдельная кнопка с светодиодным индикатором. Светодиодная индикация появляется при подключении выбранного элемента соответствующей ему кнопкой. При отсутствии индикации – элемент к схеме не подключен.

Раздел «R1» - орган управления потенциометром R1.

Раздел «НАГРУЗКА» позволяет подключать один из восьми нагрузочных

резисторов к схеме.

Раздел «ОСЦИЛЛОГРАФ» содержит элементы управления для переключения между сигналами, подаваемыми на два вывода, для подключения внешнего осциллографа (разъемы CP-50 на задней стенке макета). Наличие двух каналов вывода позволяет одновременно наблюдать формы токов и напряжений в различных точках схемы: управляющего напряжения (выходного напряжения компаратора) $u_{упр}$; коллекторного тока i_k , регулирующего транзистора $VT1$; тока i_{L1} дросселя $L1$; тока i_{VD1} , протекающего через замыкающий диод $VD1$; падение напряжения на дросселе $L1$, на замыкающем диоде $VD1$, на участке коллектор-эмиттер транзистора $VT1$ и на выходе устройства.

Лабораторный макет, помимо исследуемых схем, содержит встроенный мультиметр для измерения постоянной составляющей (среднего значения) токов I_n , I_k и напряжений U_p , U_1 , $U_{вых}$. Выбор режима измерения производится нажатием кнопки «№ пункта», а переключение между токами и напряжениями с помощью кнопок вправо и влево.

5.3. Программа выполнения работы

Комплектация экспериментального стенда содержит: лабораторный макет, осциллограф R&S RTB2002 и компьютер.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с лабораторным макетом «ИМПУЛЬСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ», изучить его лицевую панель, гнезда для подключения осциллографа на задней панели и кнопки управления.

Сопоставьте принципиальную схему макета, показанную на рисунке 5.1, со схемой, имеющейся на макете.

Соединить с помощью коаксиальных кабелей «вых.1» макета с первым каналом осциллографа R&S RTB2002 «Ch 1» и «вых.2» со вторым каналом «Ch 2». Убедиться в правильности подключения макета. После этого включить осциллограф, лабораторный макет и компьютер.

5.3.1. Исследование преобразователя напряжения постоянного тока, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа

Все ключи в схеме должны быть подключены в первом положении. Частоту переключения ГЛИН установите равной 10 кГц, нагрузку в положение любое положение из диапазона 6-8, а входное напряжение $U_1 = 12 \dots 15\text{В}$. Составьте осциллограммы $U_{\text{упр}}$, $U_{\text{кз}}$, $i_{\text{к}}$, i_{L1} , U_{L1} , i_{VD1} , U_{VD1} и $U_{\text{н}}$. Процесс сохранения и составления осциллограмм описан в **6 главе**.

Измерьте входное напряжение $U_{\text{вх}}$, напряжение на нагрузке $U_{\text{н}}$, постоянную составляющую коллекторного тока $I_{\text{к}}$ и ток в цепи нагрузки $I_{\text{н}}$.

Вычислите коэффициент полезного действия преобразователя.

Снимите регулировочные характеристики преобразователя при постоянном сопротивлении нагрузки (положение 2) и минимальном входном напряжении и заполните таблицу 5.1. Для измерения τ воспользуйтесь функционалом Cursor осциллографа. Для этого нажмите в правом нижнем углу дисплея осциллографа кнопку Menu и в выпавшем окне выберите Cursor. В окне настройки выберите вертикальный тип курсоров и 1 канал как источник сигнала. Выставив все параметры нажмите Set To Trace, на экране появятся 2 вертикальных направляющих. Передвиньте их в начало и конец импульса тока. Значение Δt под рабочей плоскостью и будет τ , а их относительная длительности будет равняться $\gamma = \frac{\tau}{T}$.

Таблица 5.1 – Результаты измерений регулировочных характеристик

$U_{\text{р}}, \text{В}$							
$U_{\text{н}}, \text{В}$							
$\tau, \text{мкс}$							
$\gamma, \%$							
$I_{\text{к}}, \text{мА}$							

Установите максимальное сопротивление нагрузки (положение 1) и относительную длительность импульсов коллекторного тока γ в пределах от 0,3 до 0,5. Снимите нагрузочные характеристики преобразователя при изменении сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ и заполните таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты измерений нагрузочных характеристик

I_H , мА								
U_H , В								
τ , мкс								
γ , %								
I_K , мА								

Определите динамическое сопротивление R_i преобразователя.

5.3.2. Исследование преобразователя напряжения постоянного тока, силовая часть которого построена по схеме полярно-инвертирующего типа

Все ключи в схеме должны быть подключены в первом положении, кроме второго. Частоту переключения ГЛИН установите раной 10 кГц, нагрузку в положение любое положение из диапазона 3-8, а входное напряжение $U_1 = 12 \dots 15$ В. С помощью потенциометра R1 установите относительную длительность импульсов коллекторного тока γ (скважность) такими, чтобы постоянная составляющая коллекторного тока не превышала 350 мА.

Составьте осциллограммы $U_{упр}$, $U_{кз}$, i_k , i_{L1} , U_{L1} , i_{VD1} , U_{VD1} и U_H , вычислите коэффициент полезного действия преобразователя, снимите регулировочные и нагрузочные характеристики, а также определите R_i аналогично предыдущему пункту работы.

5.3.3. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ШИМ

Все ключи в схеме должны быть подключены в первом положении, кроме третьего. Частоту переключения ГЛИН установите раной 10 кГц, а потенциометр R1 – в среднее положение. Нагрузку в положение любое положение из диапазона 6-8.

Снимите зависимость напряжения на нагрузке U_H , длительности импульсов коллекторного тока τ и их относительной длительности $\gamma = \frac{\tau}{T}$ от входного напряжения U_1 и заполните таблицу 5.3

Таблица 5.3 – Результаты измерений

$U_{BX}, В$										
$U_H, В$										
$\tau, мкс$										
$\gamma, \%$										

Определите динамическое сопротивление K_u выходного напряжения по входному при минимальном, среднем и максимальном значениях входного напряжения.

Снимите нагрузочные характеристики, а также определите R_i аналогично предыдущему пункту работы.

5.3.4. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме полярно-инвертирующего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ШИМ.

Первый ключ установите в первом положении, остальные во втором. Частоту переключения ГЛИН установите равной 10 кГц, а потенциометр $R1$ – в среднее положение. Нагрузку в положение любое положение из диапазона 6-8.

Проведите те же операции, что и в предыдущем пункте.

5.3.5. Исследование компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме понижающего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ДПМ.

Второй ключ установите в первом положении, остальные во втором. Потенциометр $R1$ – в среднее положение. Нагрузку в положение любое положение из диапазона 6-8.

Проведите те же операции, что и в предыдущем пункте.

5.4. Вопросы по лабораторной работе

- 1) Почему коэффициент полезного действия в импульсном стабилизаторе выше, чем в стабилизаторе с непрерывным регулированием?
- 2) Объясните назначение элементов электрической принципиальной схемы преобразователей (стабилизаторов) – транзистора, дросселя, диода.

- 3) Почему в схеме лабораторной установки не используется гистерезисный элемент?
- 4) Объясните ход временных диаграмм токов и напряжений в исследуемых устройствах.
- 5) Почему полярность напряжения на дросселе изменяется при переходе из режима накопления энергии в дросселе в режим разряда?