

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 26.09.2023 11:36:30
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

«Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 20 » 09 2022г.



ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ МАЛОМОЩНЫХ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ №№ 1, 2, 3 и 4
по дисциплине «Промышленная электроника»

Составители: А.В. Филонович, А.О. Гладышкин, И.В. Ворначёва

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент В.Н.

Алябьев

Исследование схем маломощных однофазных выпрямителей
Методические указания к выполнению лабораторных работ 1, 2, 3 и
4 по Промышленной электронике / Курск. ЮЗГУ. Сост.: А.В.
Филонович, А.О. Гладышкин, И.В. Ворначёва. Курск , 2022. 19 с.

Излагаются методические указания к выполнению цикла лабораторных работ «Исследование схем маломощных однофазных выпрямителей» по курсу «Промышленная электроника». Изучается принцип действия, снимаются внешние характеристики, осциллограммы токов и напряжений различных схем выпрямления при отсутствии и наличии тех или иных фильтров; определяется зависимость параметров и характеристик выпрямителей от характера нагрузки и типа применяемого фильтра.

Предназначены для студентов специальности 13.03.02

Ил . 11 . Библиогр. 3 назв.

Текст печатается в авторской редакции

Курский государственный юго-западный университет.
305040, Курск, ул.50 лет Октября , 94.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Рассматриваемый цикл лабораторных работ ставит целью изучение принципа действия, снятие характеристик и определение параметров схем маломощных однофазных выпрямителей при различной нагрузке с применением тех или иных сглаживающих фильтров.

1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цикл состоит из четырех работ: в работе №1 исследуется однофазная однополупериодная схема выпрямления; работа №2 посвящается однофазной двухполупериодной схеме выпрямления с выводом нулевой точки трансформатора; в работе №3 изучается работа однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя, а в работе №4 исследуется схема выпрямления с удвоением напряжения. Все схемы выпрямления исследуются с использованием различных типов фильтров, что вносит существенные особенности в характеристики, параметры и осциллограммы, получаемые в ходе эксперимента.

Выпрямителями, в общем случае, называют устройства для преобразования переменного напряжения в постоянное. Однако без так называемых сглаживающих фильтров на выходе выпрямителей получается пульсирующее напряжение, в котором помимо постоянной составляющей, несущей полезный эффект, присутствуют переменные составляющие, наибольший вес из которых приходится на низшую по частоте. Степень пульсации выпрямленного напряжения оценивается количественно коэффициентом пульсаций:

$$q = \frac{U_{mn}}{U_d} \quad (1.1)$$

где U_{mn} - амплитуда низшей гармонической выпрямленного напряжения;

U_d - среднее значение выпрямленного напряжения;

Применение фильтров приводит к уменьшению пульсаций выпрямленного напряжения, а эффективность действия фильтров оценивается коэффициентом сглаживания:

$$S = \frac{q}{q'} \quad (1.2)$$

где q - коэффициент пульсаций без применения фильтров; q' - коэффициент пульсаций при наличии фильтра.

1.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

Принципиальная схема исследуемого однофазного однополупериодного выпрямителя показана на рис. 1.1.

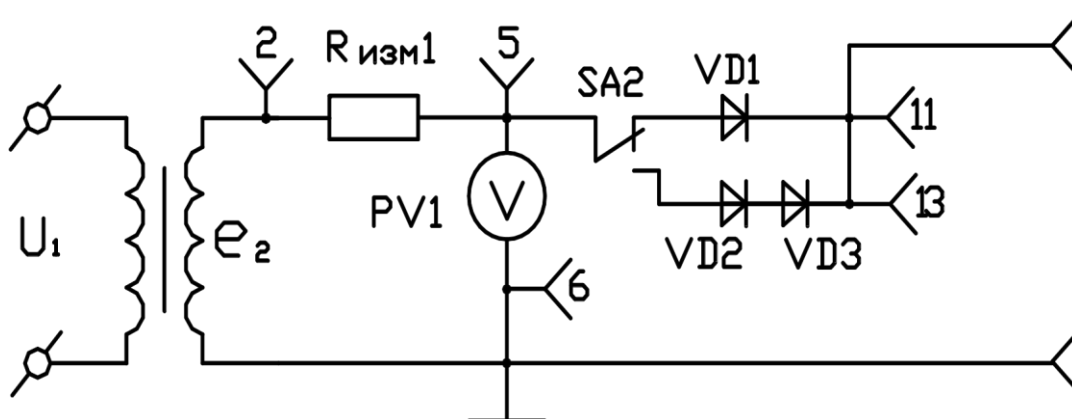


Рис. 1.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

Очевидно, что во время положительного полупериода э.д.с. e_2 вторичной обмотки трансформатора вентили VD1 или VD2, VD3 (в зависимости от положения тумблера SA2) пропускают ток, а во время отрицательного полупериода – не пропускают. Т.е. ток в нагрузке, подключенной к выходу выпрямителя, будет протекать в одном направлении, что и требуется.

При работе на чисто активную нагрузку и, считая вентили и трансформатор идеальными, можно получить следующие соотношения, характеризующие работу выпрямителя:

где U_d - среднее значение выпрямленного напряжения;
 U_2 - действующие значение напряжения вторичной обмотки трансформатора;

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot U_2 \sin \omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2 ; \\
 U_2 &= 2.22 \cdot U_d \quad I_a = I_d ; \\
 I_{amax} &= \frac{U_{2max}}{R_H} = \frac{\pi U_d}{R_H} = 3.14 \cdot I_d ; \\
 U_{amax} &= U_{2max} = \pi \cdot U_d = 3.14 U_d ;
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

где: I_d - среднее значение выпрямленного тока;
 I_a - среднее значение тока вентилей;
 I_{amax} - максимальное значение тока вентилей;
 U_{amax} - максимальное значение обратного напряжения вентилей;
 U_{2max} - максимальное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

1.2. Однофазный двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки трансформатора

Принципиальная схема названного выпрямителя показана на рис.2.

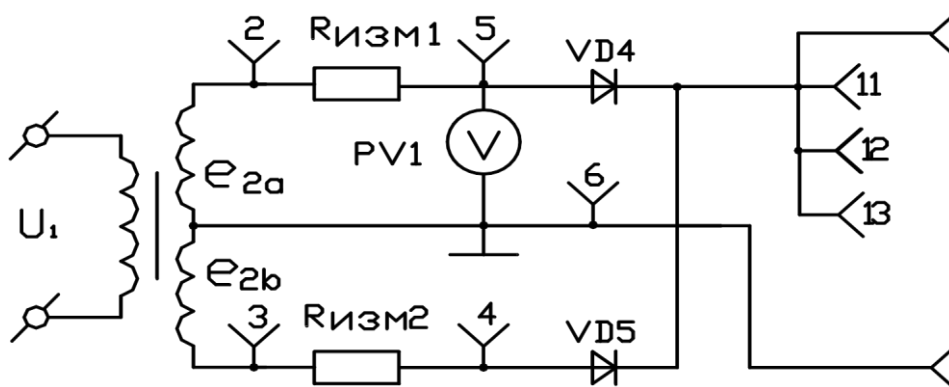


Рис. 2 Однофазный двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки трансформатора

В соответствии с чередованием положительных полупериодов фазных э.д.с. e_{2a} и e_{2b} поочередно открываются вентили VD4 и VD5, ток в нагрузке при этом имеет одинаковое направление и протекает в оба полупериода U_1 . Ниже в (1.4) приведены соотношения, характеризующие работу выпрямителя:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot U_2 \sin \omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.9 U_2$$

$$U_2 = 1,11 \cdot U_d \quad I_a = \frac{I_d}{2} \quad (1.4)$$

$$I_{amax} = \frac{U_{2max}}{R_H} = \frac{\pi U_d}{R_H} = 1.57 \cdot I_d$$

$$U_{amax} = U_{2max} = \frac{\pi}{2} \cdot U_d = 3.14 U_d$$

1.3. Однофазный мостовой выпрямитель

Принципиальная схема однофазного мостового выпрямителя приведена на рис. 1.3.

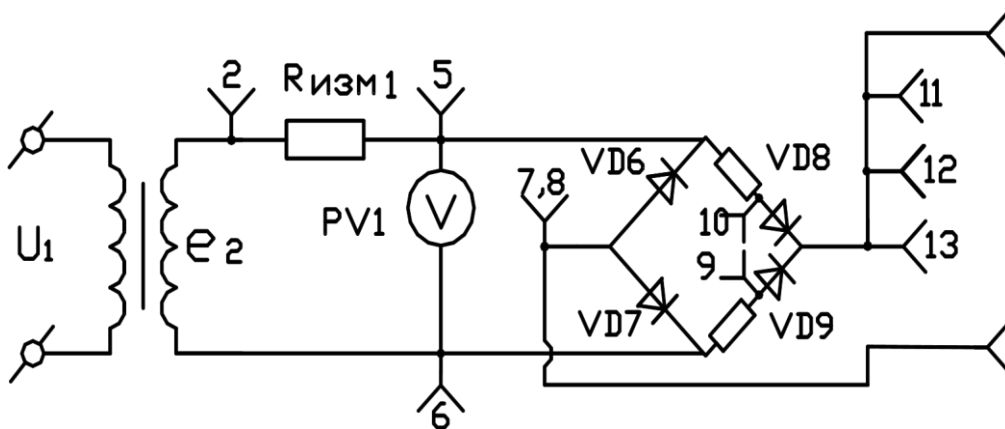


Рис. 1.3. Однофазный мостовой выпрямитель

В зависимости от полупериода э.д.с. e_2 открыты пары вентилях VD8, VD7, либо VD9, VD6. Ток через нагрузку, включенную в диагональ моста между точками 7,13, течет в одном направлении в оба полупериода. Соотношения, характеризующие

работу мостового выпрямителя, аналогичны записанным в (1.4), за исключением максимального обратного напряжения вентилей, которое находится по выражению:

$$U_{amax} = U_{2max} = \frac{\pi}{2} \cdot U_d = 1.57 \cdot U_d \quad (1.5)$$

Т.е. требования по напряжению к вентилям здесь в два раза ниже.

1.4. Выпрямитель с удвоением напряжения

Схема выпрямителя с удвоением напряжения показана на рис. 1.4.

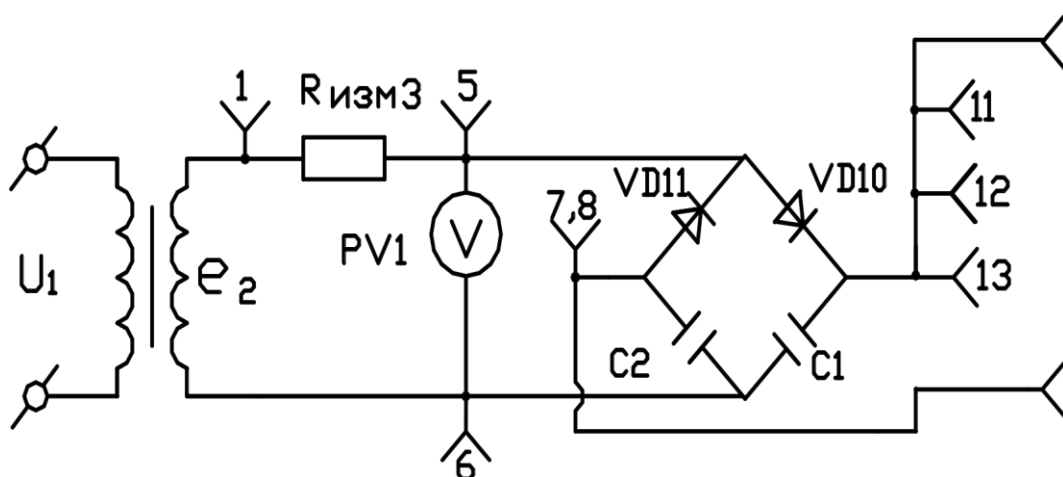


Рис. 1.4.

В один из полупериодов э.д.с. e_2 открыт вентиль VD10 и конденсатор C1 заряжается, в другой полупериод открыт вентиль VD11 и заряжается конденсатор C2. Конденсаторы C1 и C2 включены последовательно, поэтому напряжение на нагрузке определяется суммой их напряжений. Частота пульсаций в двухполупериодных схемах выпрямления в два раза выше частоты сети.

Значения токов и напряжений, характеризующие работу схемы, определяются емкостным характером нагрузки.

1.5. RC – фильтр

Устройство стенда позволяет исследовать выпрямители с применением различного рода фильтров, сглаживающих выпрямленное напряжение, т.е. уменьшающих коэффициент пульсаций q' (см. выражение 1.1).

Одним из простейших является RC- фильтр, схема которого показана на рис. 1.5.

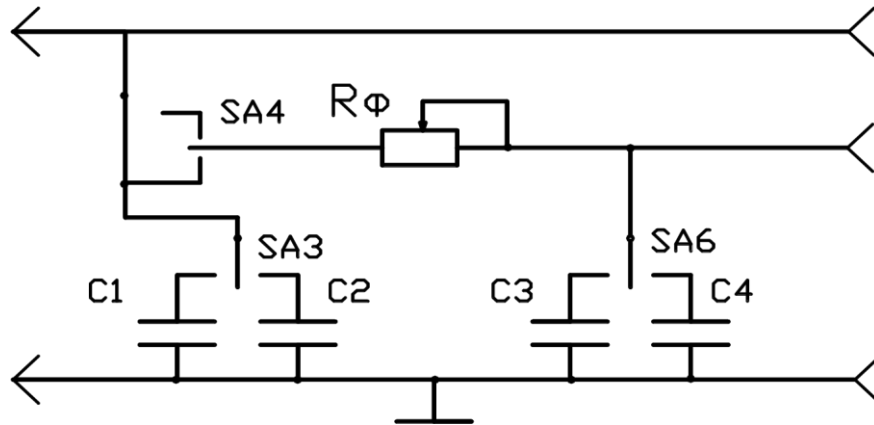


Рис. 1.5. RC – фильтр

Манипулируя переключателями SA3, SA4 и SA6 можно получить C- фильтр, RC- фильтр, CRC- фильтр и работу без фильтра. При протекании тока через R_{ϕ} уменьшается напряжение в нагрузке и растут потери мощности.

1.6. LC- фильтр

Схема LC- фильтра приведена на рис. 1.6.

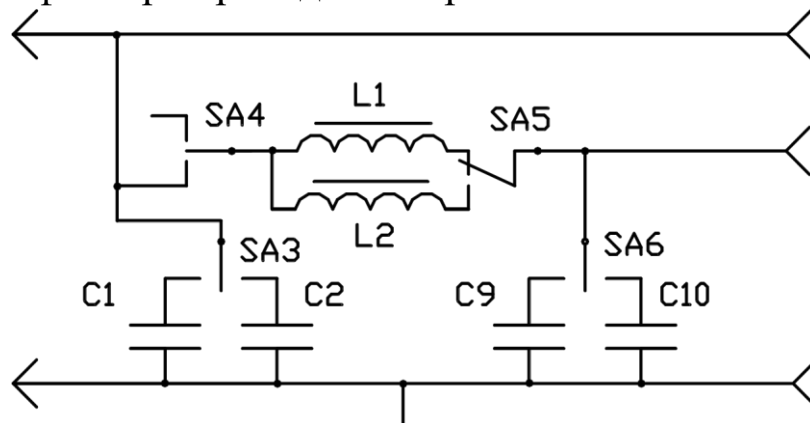


Рис. 1.6. LC -фильтр

Изменяя положение переключателей SA3, SA4 и SA6 можно обеспечить работу без фильтра и с фильтрами: C, L, LC, и CLC. Тумблером SA5 подключается один из дросселей L1 и L2.

1.7. LC - фильтр с компенсацией

Отличие LC- фильтра с компенсацией от обычного LC- фильтра заключается в наличии компенсационной обмотки дросселя L2, которая уменьшает его подмагничивание вследствие протекания постоянной составляющей выпрямленного тока. В результате снижения магнитной проницаемости сердечника и индуктивность дросселя уменьшается.

Принципиальная схема LC- фильтра с компенсацией показана на рис. 1.7.

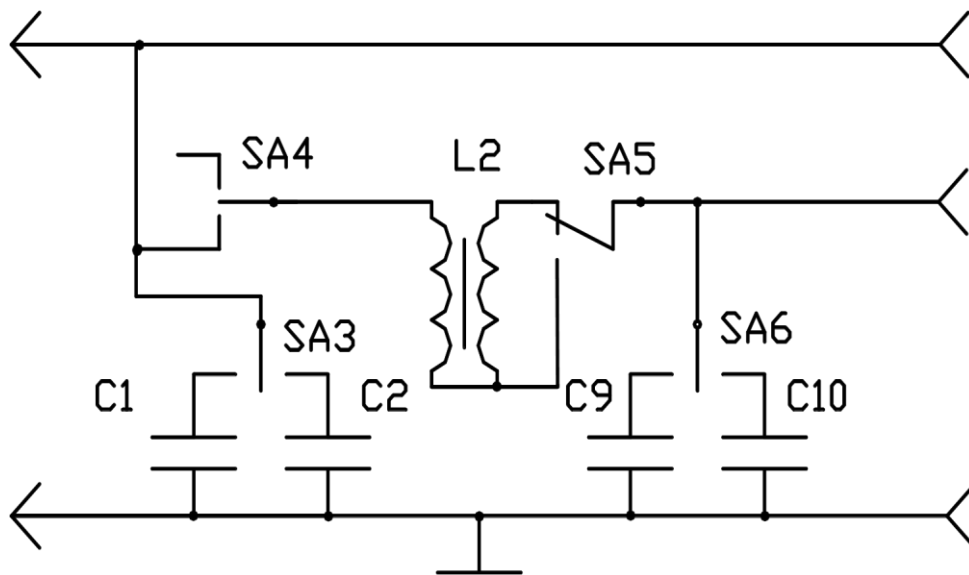


Рис. 1.7.

Переключателями SA3, SA4 и SA6 может быть обеспечена работа без фильтра и с фильтрами: C, L, LC и CLC. Тумблер SA5 коммутирует компенсационную обмотку дросселя L2.

1.8. LC-фильтры с параллельным и последовательным резонансом

Работа фильтров основана на явлениях параллельного и последовательного резонансов в LC контурах, что по сравнению с обычным Г-образным LC-фильтром существенно повышает коэффициент сглаживания.

Принципиальные схемы LC-фильтров с параллельным и последовательным резонансом показаны соответственно на рис. 1.8. и 1.9.

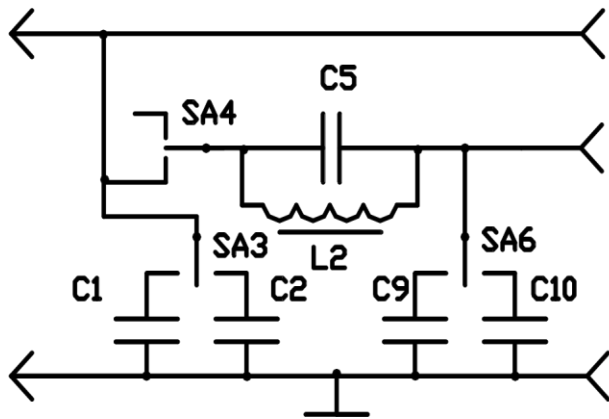


Рис. 1.8

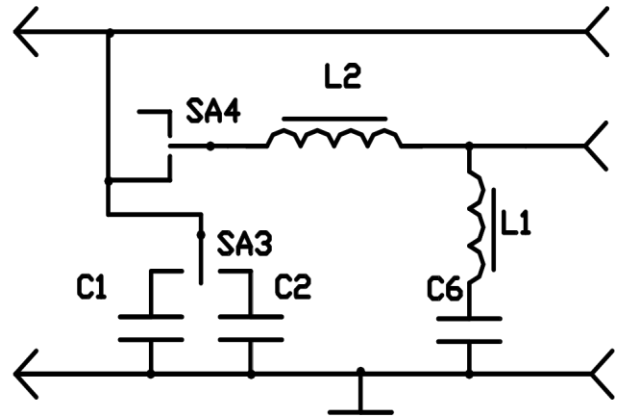


Рис. 1.9

1.9. Транзисторный фильтр

Схема фильтра приведена на рис. 1.10. Работа основана на различии сопротивлений коллектор-эмиттер транзистора по постоянному и переменному токам при выборе рабочей точки на пологом участке его выходных характеристик. Нагрузка включена последовательно с транзистором в его эмиттерную цепь, что позволяет получить низкое выходное сопротивление фильтра и его малую чувствительность к изменению тока в нагрузке. Сопротивления R_1 , R_2 , R_d и емкости C_7 , C_5 и C_6 в цепи базы играют роль двухзвенного RC-фильтра, одновременно обеспечивая требуемое положение рабочей точки и термостабилизацию.

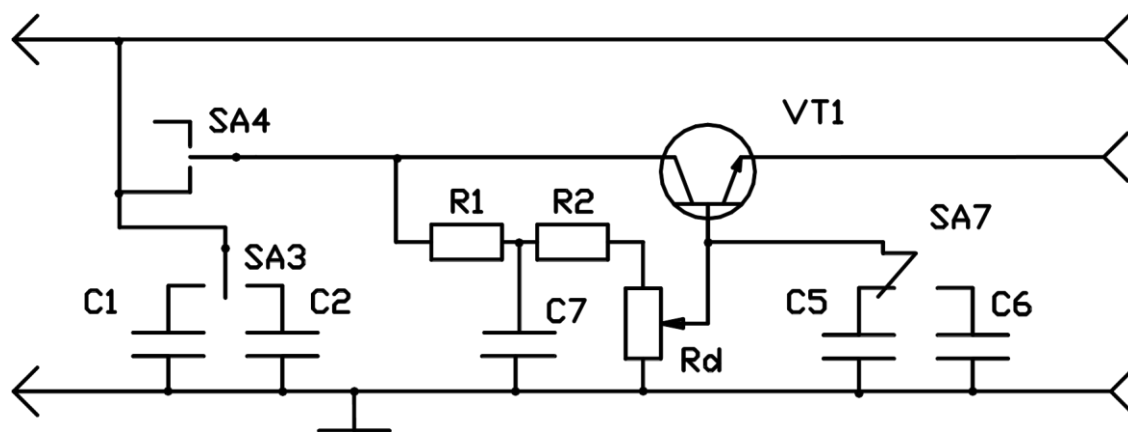


Рис. 1.10

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка выполнена в виде настольного переносного стенда, в котором смонтированы четыре выпрямителя и шесть фильтров. Смена схем выпрямления и фильтров осуществляется посредством закрепления на стенде пары панелей с изображением соответствующего выпрямителя и фильтра. Общий вид передней панели показан на рис. 2.1.

На передней панели стенда расположены органы управления, а также ряд приборов. Тумблер «СЕТЬ» и сигнальная лампочка для включения и контроля включения стенда; шестнадцать контрольных гнезд (1-16), позволяющих подключаться к интересующим точкам в исследуемой схеме; четыре гнезда (17-20) для подключения вольтметра PV2; переключатели на три положения SA4, SA3, SA6 и тумблеры SA7, SA2, SA5 на два положения, позволяющие обеспечить требуемый режим работы выпрямителя и фильтра; три регулируемых сопротивления «Rd», «Rф», «Rн», позволяющих соответственно менять режим работы транзисторного фильтра, величину сопротивления в RC - фильтре и сопротивление нагрузки. На передней панели укреплены два вольтметра PV1 и PV2 и амперметр PA.

Перед началом работы все тумблеры поставить в положение «вниз», переключатели на три положения - в среднее (нейтральное) положение, ручки регулировок - в левое крайнее положение. Клемму заземления соединить с контуром заземления. Шнур питания стенда включить в розетку тока 50 Гц, 220 В.

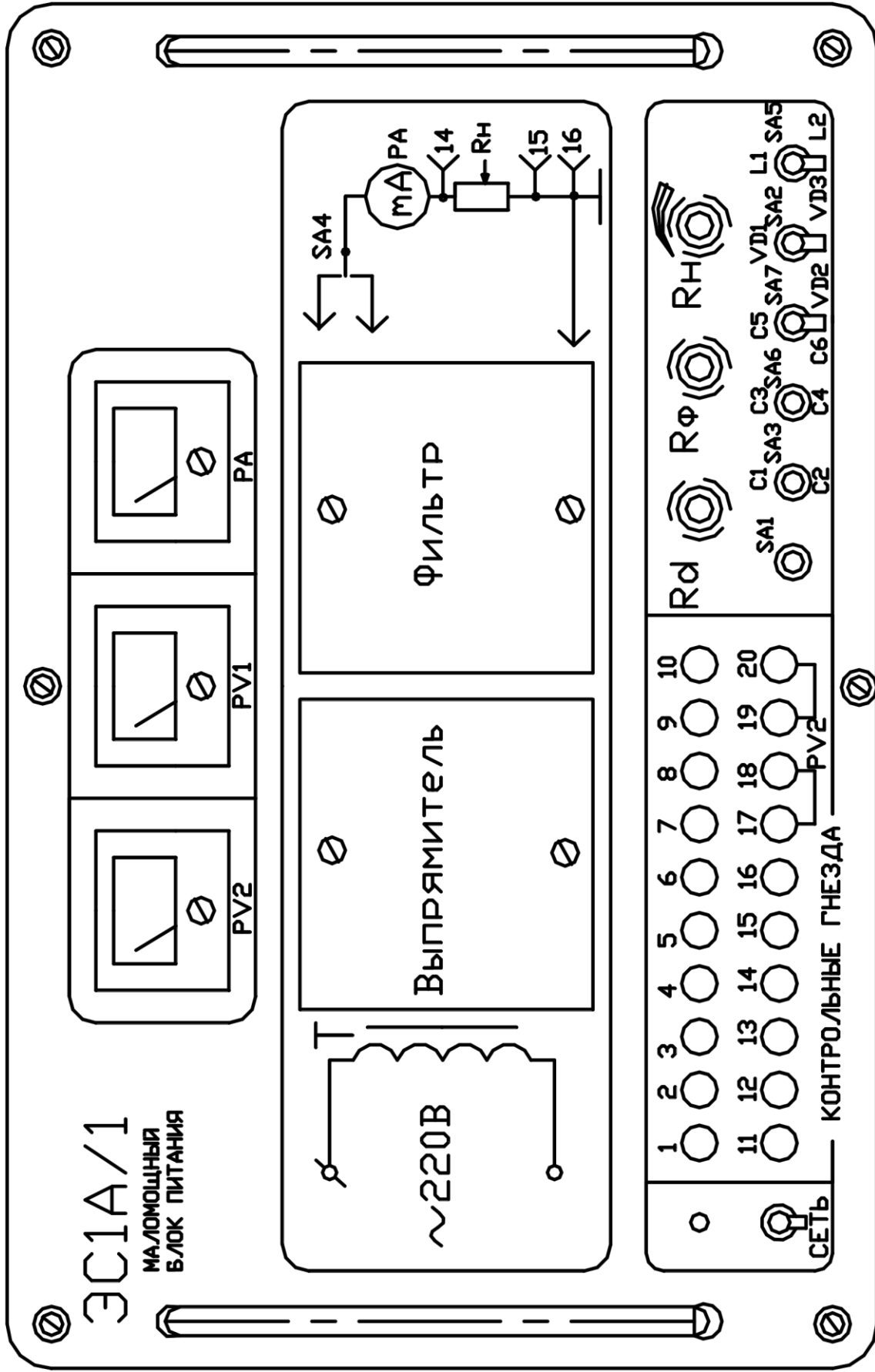


Рис. 2.1 Общая вид панели лабораторной установки

3. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Исследование однофазного однополупериодного выпрямителя.

3.1.1. Ознакомиться с принципом действия выпрямителя, для чего необходимо обратиться к п.1.1. данного описания.

3.1.2. Снять и построить внешние характеристики $U_d=f(I_d)$ при работе:

- без фильтра;
- с С-фильтром;
- с RC-фильтром;
- с LC-фильтром;
- с транзисторным фильтром.

Для выполнения этого пункта необходимо в обесточенном состоянии на передней панели стенда закрепить невыпадающими винтами сменную панель однополупериодного выпрямителя (1) и панель RC - фильтра (5). Переключатель SA2 поставить в положение VD1 (вверх), SA4 - в положение «вверх»; SA3 - в нейтральное; SA6 - в нейтральное. Ручку сопротивления R_f в крайнее левое и R_n - в крайнее левое положение. Подключить вольтметр PV2 к нагрузке R_n , для чего гнездо 17 или 18 соединить с гнездом 14, а гнездо 19 или 20 соединить с гнездом 16. Далее тумблер «СЕТЬ» поставить в положение «вверх» и изменяя положение ручки R_n от крайнего левого до крайнего правого, по 5-7 точкам снять зависимость $U_d=f(I_d)$. I_d - контролируется по прибору PA, а U_d по PV2. Выполнив указанные операции, мы тем самым снимем внешнюю характеристику выпрямителя без фильтра.

Для работы с С-фильтром достаточно изменить в исходном состоянии положение переключателя SA3 с нейтрального на положение C1 (вверх) или C2 (вниз). Последовательность дальнейших операций аналогична предыдущему случаю.

Для работы с RC - фильтром в исходном состоянии переключатель SA4 необходимо поставить в нижнее положение, а

переключатель SA6 либо в нижнее (C4), либо в верхнее положение (C3), ручку сопротивления Rф - в среднее положение, остальное аналогично первому случаю.

Для работы с LC - фильтром необходимо на место фильтра поставить соответствующую панель 6. Переключатель SA4 перевести в положение “вниз”, переключатель SA5 либо в положение L1, либо в положение L2; переключатель SA6 либо в положение C3, либо в C4; переключатель SA3 в нейтральное положение. Техника снятия внешней характеристики такая же, как и в первом случае.

При работе с транзисторным фильтром необходимо установить соответствующую панель 10. Переключатель SA3 - в нейтральное положение, SA4 - в нижнее, SA7 либо в положение C5, либо C6, ручку сопротивления Rd - в среднее. Меняя значение Rн снять внешнюю характеристику.

3.1.3. Снять осциллограммы при номинальной нагрузке (ручка Rн в среднем положении) выпрямленного напряжения u_d , напряжения на диоде $u_{ак}$, анодного тока i_a , тока во вторичной обмотке трансформатора i_2 , и напряжения во вторичной обмотке u_2 при работе:

- без фильтра;
- с C-фильтром;
- с RC-фильтром;
- с LC-фильтром;
- с транзисторным фильтром.

При выполнении этого задания для каждого из режимов, приведенных в п. 3.1.2, необходимо подключать последовательно осциллограф к гнездам 14-16; 5-11; 2-5 (для i_a и i_2) и 5-6.

3.2. Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки трансформатора.

3.2.1. Ознакомиться с принципом действия выпрямителя, для чего необходимо обратиться к п. 1.2 данного описания.

3.2.2. Снять и построить внешние характеристики выпрямителя $U_d = f(I_d)$ при работе:

- без фильтра;
- с С-фильтром;
- с LC-фильтром без компенсации; - с LC-фильтром с компенсацией.

Для выполнения этого пункта необходимо в обесточенном состоянии закрепить на стенде сменную панель двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки трансформатора (2) и панель LC-фильтра с компенсацией (7).

Для работы без фильтра переключатель SA4 поставить в положение «вверх», SA3 - в нейтральное, SA6 - в нейтральное, ручку сопротивления R_n в крайнее левое. Подключить вольтметр PV2 к нагрузке R_n и изменяя положение ручки R_n от крайнего левого до крайнего правого снять по 5-7 точкам зависимость $U_d = f(I_d)$.

При снятии внешней характеристики с С - фильтром необходимо SA4 поставить в положение «вверх», SA3 в положение C1 или C2. Снятие $U_d = f(I_d)$ выполняется аналогично предыдущему случаю.

С фильтром LC без компенсации внешняя характеристика снимается при положении переключателя SA4 – «вниз», SA3 нейтральном, SA5 – «вниз», SA6 - либо в положении C3, либо C4.

Внешняя характеристика с фильтром LC с компенсацией снимается аналогично предыдущему случаю, кроме того, что переключатель SA5 ставится в положение «вверх».

3.2.3. Снять осциллограммы при номинальной нагрузке (R_n в среднем положении) выпрямленного напряжения u_d , напряжения на диоде $u_{ак}$, анодного тока i_a , тока во вторичной обмотке трансформатора i_2 и напряжения на вторичной обмотке u_2 для тех же режимов, что и в п. 3.2.2. Для этого надо подключать

осциллограф последовательно к гнездам 14-16; 5-11; 2-5 (для i_a и i_2) и 5-6.

3.3. Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме.

3.3.1. Ознакомиться с принципом действия выпрямителя, для чего обратиться к п 1.3 данного описания.

3.3.2. Снять и построить внешние характеристики при работе:

- без фильтра;
- с фильтром С;
- с фильтром LC с параллельным резонансом; - с фильтром LC с последовательным резонансом.

Для выполнения этого пункта необходимо закрепить на стенде панель двухполупериодного мостового выпрямителя (3) и панель LC-фильтра с параллельным резонансом(8). Для работы без фильтра переключатель SA4 поставить в положение «вверх», SA3 - в нейтральное, SA6 - в нейтральное, ручку Rн - в крайнее левое. Подключить вольтметр PV2 к нагрузке Rн и, изменяя положение ручки Rн от крайнего левого до крайнего правого, снять по 5-7 точкам зависимость $U_d = f(I_d)$.

При снятии внешней характеристики с С-фильтром необходимо SA4 поставить в положение «вверх», SA3 в положение С1 или С2. Все остальное делается аналогично предыдущему случаю.

С LC-фильтром с параллельным резонансом внешняя характеристика снимается при положении переключателя SA4 – «вниз», SA3 – «нейтральное», SA6 в нейтральное. Все остальное делается аналогично предыдущему случаю.

Снятие внешней характеристики с LC-фильтром с последовательным резонансом требует замены панельки (8) на панель (9). Переключатель SA4 ставится в положение «вниз», SA3 нейтральное. Остальное выполняется аналогично предыдущему случаю.

3.3.3. Снять осциллограммы на холостом ходу и при номинальной нагрузке (R_n - в среднем положении) выпрямленного напряжения u_d , напряжения на диоде $u_{ак}$, анодного тока i_a , тока во вторичной обмотке трансформатора i_2 и напряжения на вторичной обмотке u_2 для тех же режимов, что и в п. 3.3.2. Для этого необходимо подключать осциллограф последовательно к гнездам 14-16; 5-7; 5-10; 2-5; 2-6.

3.4. Исследование выпрямителя с удвоением напряжения.

3.4.1. Ознакомиться с принципом действия выпрямителя с удвоением напряжения, для чего надо обратиться к п. 1.4. данного описания.

3.4.2. Снять и построить внешние характеристики при работе:

- без фильтра; - с
фильтром С; с
транзисторным
фильтром.

Для выполнения данного пункта необходимо закрепить на стенде панель выпрямителя с удвоением напряжения (4) и панель транзисторного фильтра (10).

При работе без фильтра переключатель SA4 поставить в положение «вверх», SA3 - в нейтральное, ручку R_n - в крайнее левое. Подключить вольтметр PV2 к нагрузке R_n и, меняя ее значение поворотом ручки R_n от крайнего левого до крайнего правого положения, снять по 5-7 точкам зависимость $U_d = f(I_d)$.

При работе с С-фильтром надо переключатель SA4 поставить в положение «вверх», а SA3 в положение C1 или C2. Остальное делается аналогично предыдущему пункту.

С транзисторным фильтром внешняя характеристика снимается при положении переключателя SA4 – «вниз», SA3 - нейтральное, SA7 - либо в положении C5, либо C6, ручка сопротивления R_d -в среднем положении. Техника снятия внешней характеристики такая же, как и в предыдущих случаях.

3.4.3. Снять осциллограммы при номинальной нагрузке (R_n - в среднем положении) выпрямленного напряжения u_d , напряжения на диоде $u_{ак}$, тока вторичной обмотки трансформатора i_2 и напряжения на вторичной обмотке u_2 для тех же режимов, что и в п. 3.4.2. Для этого надо подключать осциллограф последовательно к гнездам 14- 16;5-7;1-5;1-6.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Принципиальные схемы исследуемых устройств.
- 4.2. Краткое описание принципа действия исследуемых выпрямителей и фильтров.
- 4.3. Внешние характеристики в соответствии с заданием.
- 4.4. Осциллограммы, иллюстрирующие работу выпрямителей и фильтров.
- 4.5. Краткий сравнительный анализ внешних характеристик при различных типах фильтров.

5. ЗАДАНИЕ К КОЛЛОКВИУМУ

- 5.1. Знать цель работы, четко представлять порядок ее выполнения. К началу работы иметь заготовленную форму отчета с необходимыми схемами; их кратким описанием и порядком выполнения работы.
- 5.2. Изучить принцип действия исследуемых выпрямителей и фильтров, знать назначение элементов схем, уметь объяснить происходящие процессы.
- 5.3. При подготовке использовать данное описание и рекомендованную литературу.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 6.1. Какие устройства называют выпрямителями ?
- 6.2. В чем различие однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей?
- 6.3. Что определяет собой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения?

6.4. В чем состоит назначение сглаживающих фильтров?

6.5. Чем оценивается эффективность действия сглаживающих фильтров?

6.6. Какая зависимость называется внешней характеристикой выпрямителя?

6.7. В чем проявляется действие фильтров помимо сглаживания выпрямленного напряжения?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М.: ИД «Альянс», 2008. - 496 с.

2. Горбачев Г.Н., Чаплыгин В.Е. Промышленная электроника. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 320 с.

3. Руденко В.С. и др. Основы преобразовательной техники. - М.: Высш.шк., 1980. - 424 с.