

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 26.09.2023 11:30:34  
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.

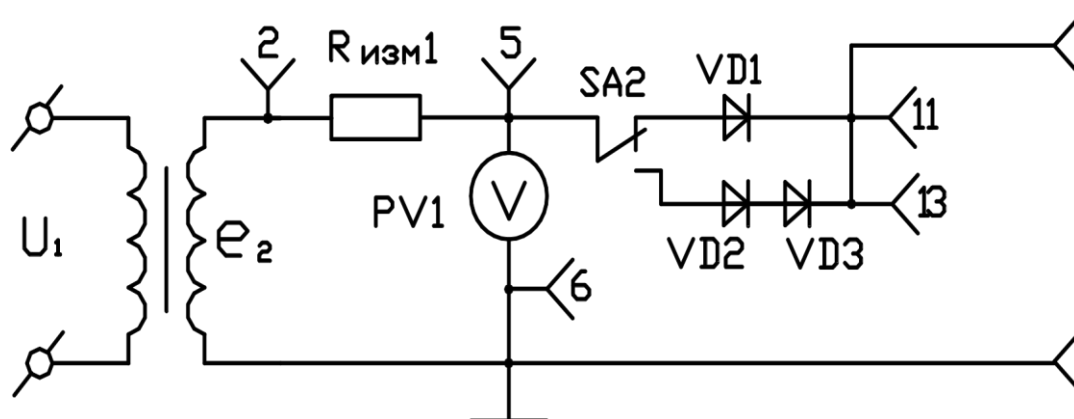


Рис. 1.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

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.

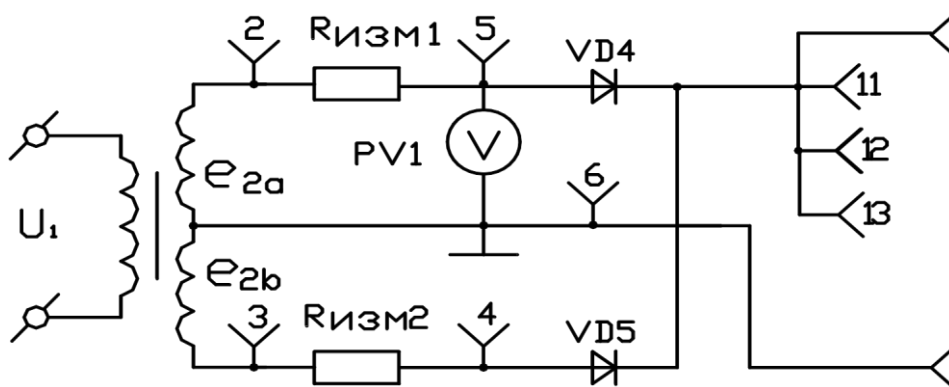


Рис. 2 Однофазный двухполупериодный выпрямитель с выводом нулевой точки трансформатора

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.

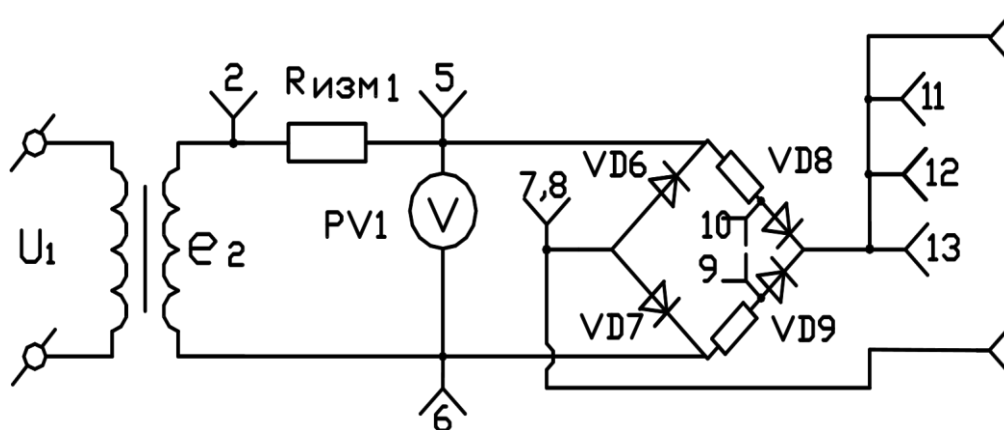


Рис. 1.3. Однофазный мостовой выпрямитель

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.

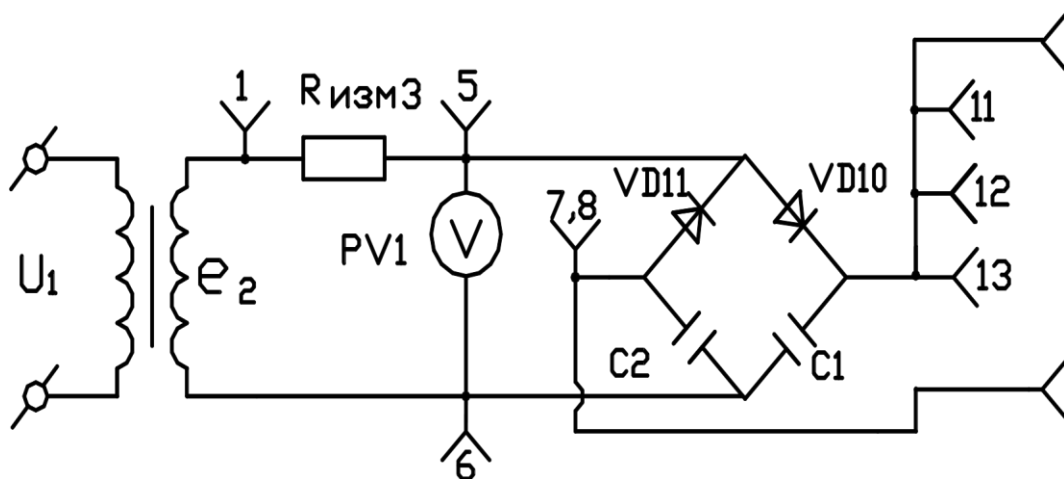


Рис. 1.4.

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.

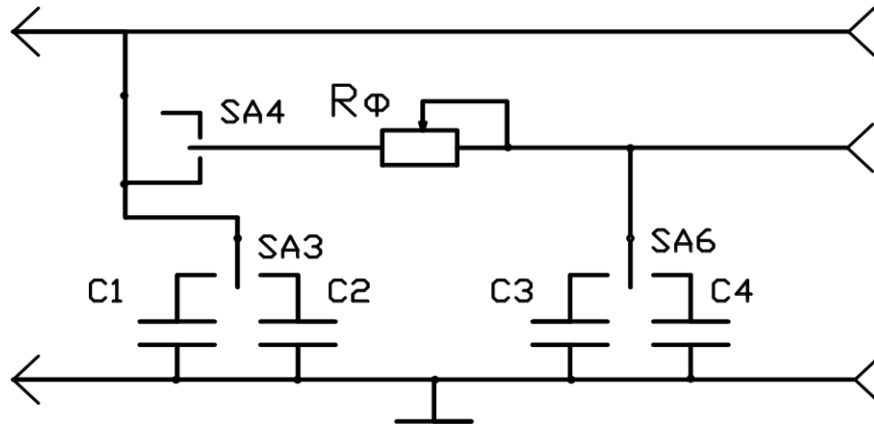


Рис. 1.5. RC – фильтр

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

## 1.6. LC- фильтр

Схема LC- фильтра приведена на рис. 1.6.

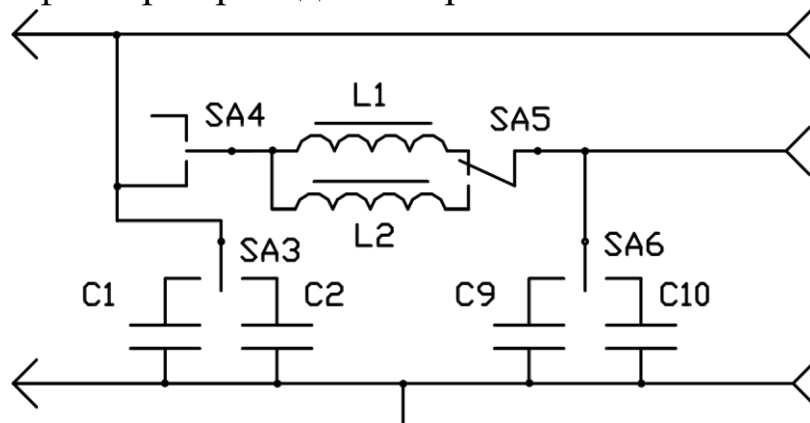


Рис. 1.6. LC -фильтр



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.

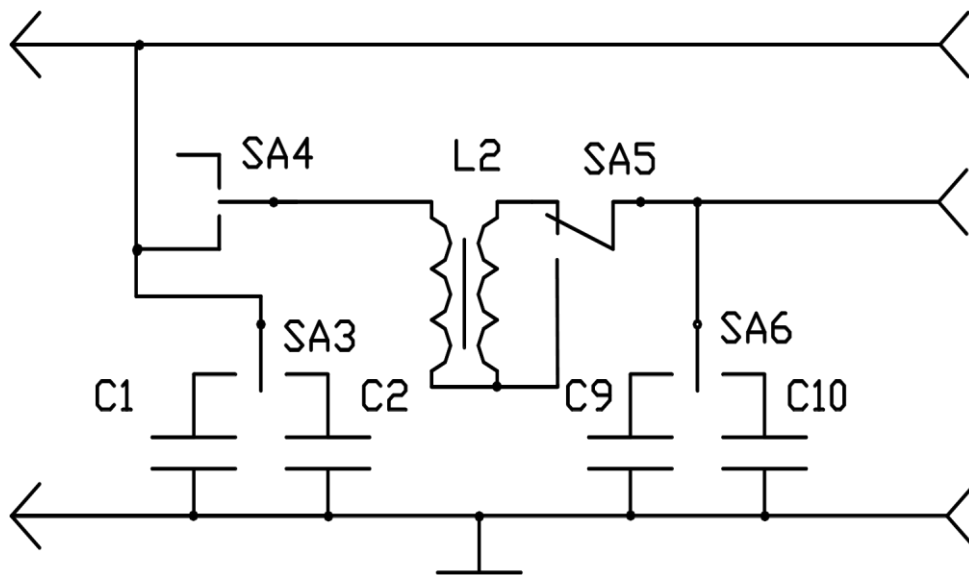


Рис. 1.7.

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.

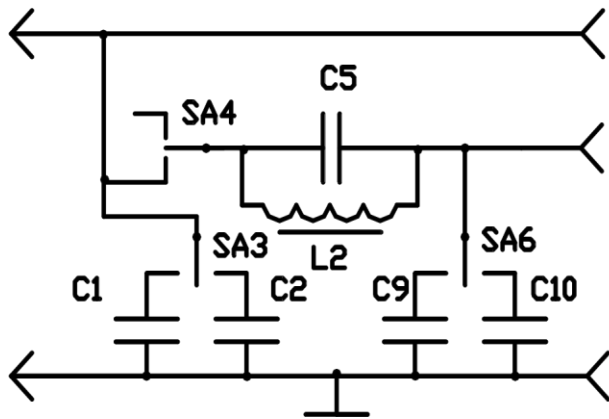


Рис. 1.8

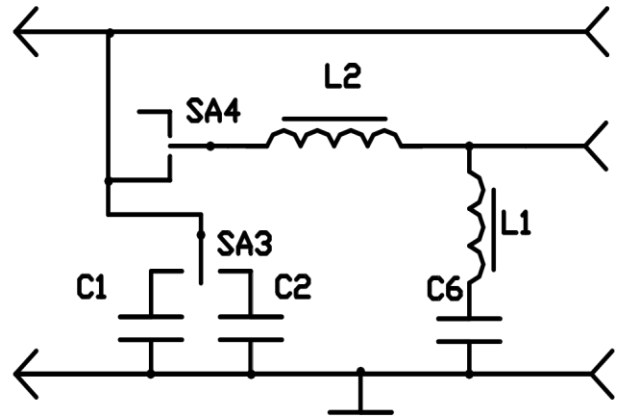


Рис. 1.9

### 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.

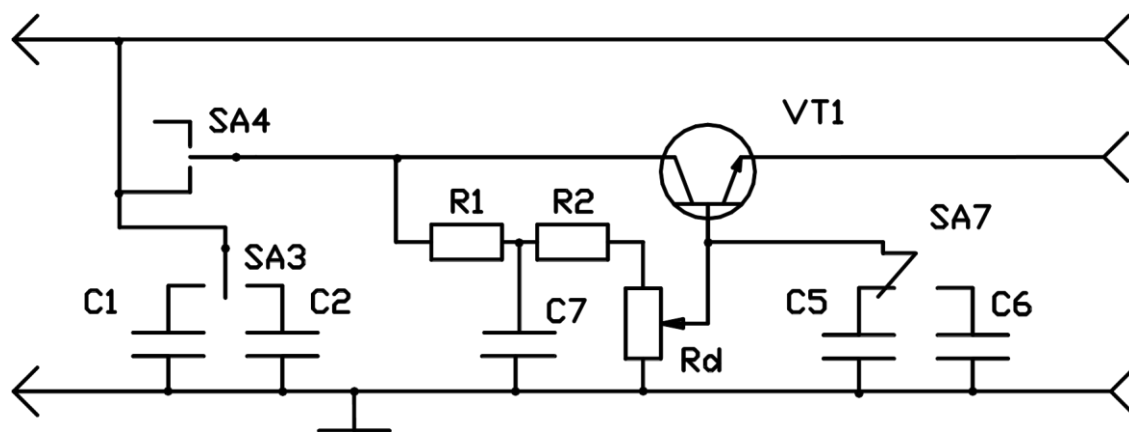


Рис. 1.10

## 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.

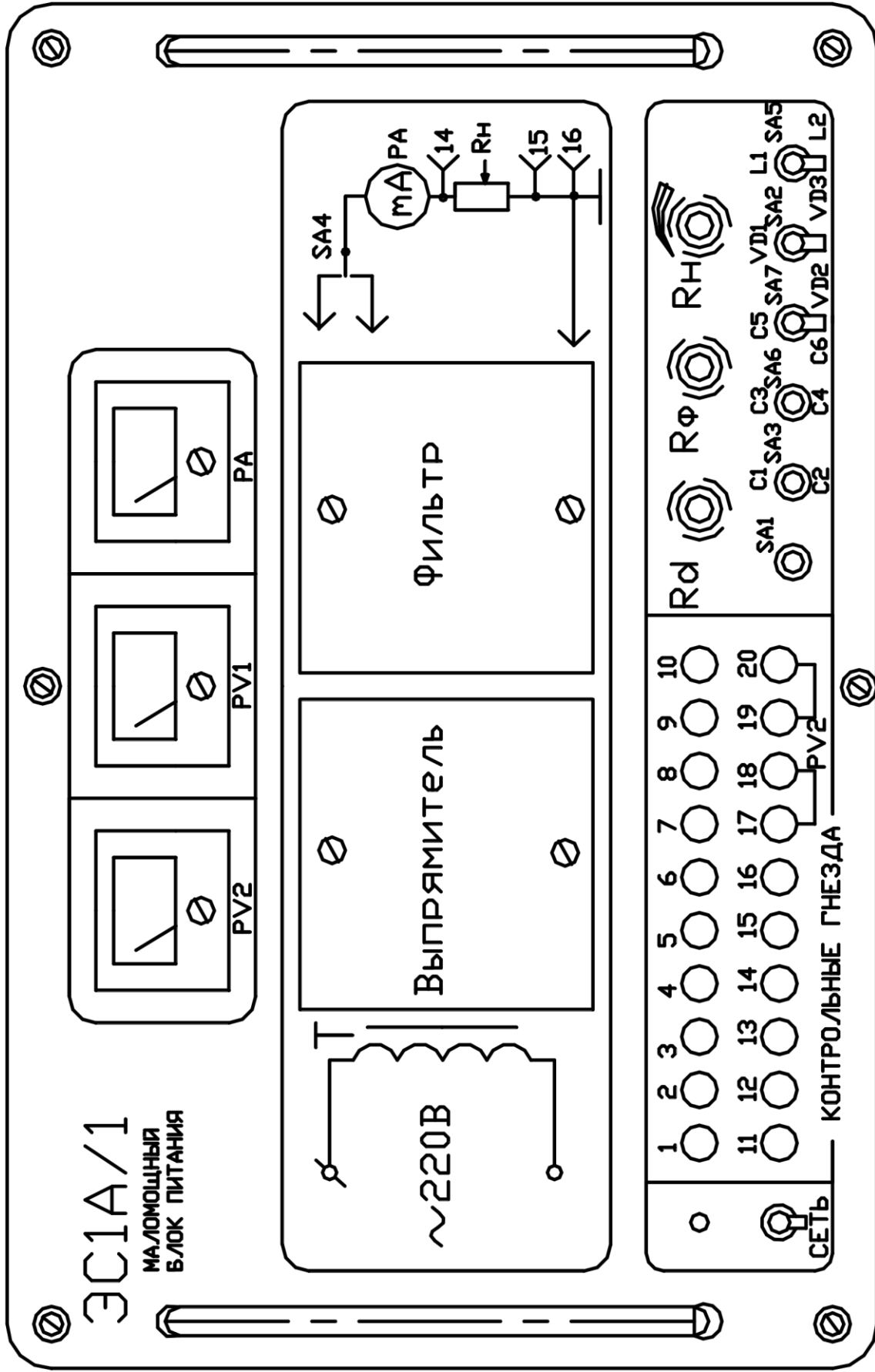


Рис. 2.1 Общая вид панели лабораторной установки

### 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.