

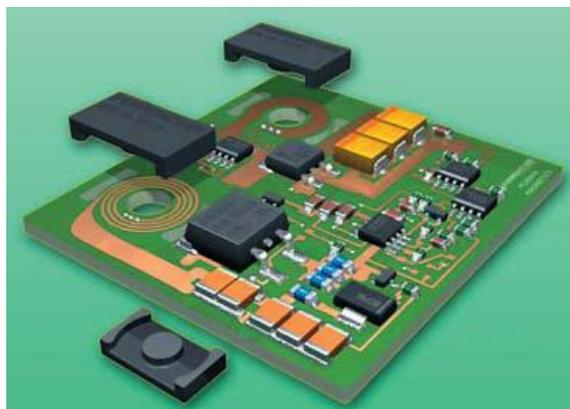
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам №1-4 по дисциплине
«Проектирование вторичных источников питания РЭС» и
«Источники питания приборов» для студентов направления
11.03.03 «Конструирование и технология электронных
средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм
обучения



Воронеж 2021

УДК 621.311.6

Составители:

канд. физ.-мат. наук В.А. Кондусов

канд. техн. наук А.С. Самодуров

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине по дисциплине «Проектирование вторичных источников питания РЭС» и «Источники питания приборов» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.А. Кондусов, А.С. Самодуров. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 32 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов при подготовке к индивидуальным и лабораторным занятиям по дисциплине. Предназначены для студентов четвертого курса обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в электронном виде и содержатся в файле [ИПП_ЛР1_4.doc](#)

Табл. 13. Ил.5. Библиогр.: 1 назв.

УДК 621.311.6

Рецензент - Е.Д. Алперин, канд. техн. наук, доц.
кафедры радиотехники ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

Общие указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Проверить наличие и надёжность присоединения провода защитного заземления к заземляющим клеммам лабораторного стенда.
2. Включать лабораторный стенд только после разрешения преподавателя или лаборанта.
3. В случае неисправности лабораторного стенда обратиться к преподавателю. Устранять неисправность или производить какие либо переключения, не предусмотренные работой, студенту запрещается.
4. При выполнении работы необходимо соблюдать меры предосторожности в соответствии с инструкцией по правилам техники безопасности в лаборатории.
5. Запрещается вскрывать находящееся в лаборатории оборудование и измерительную аппаратуру. Для устранения возможных неполадок следует обратиться к преподавателю или лаборанту.
6. При несчастных случаях следует воспользоваться медикаментами, имеющимися в лабораторной аптечке.
7. После окончания работы, получив разрешение преподавателя, необходимо выключить аппаратуру и привести в порядок рабочее место

Лабораторная работа 1.

Исследование однофазной и двухфазной схем выпрямителей

1. Цель работы. Изучить принцип действия основных однофазной и двухфазной схем выпрямителей, приобрести практические навыки расчета и экспериментального исследования основных характеристик этих выпрямителей.
2. Описание лабораторного стенда. Конструктивно лабораторный стенд выполнен в виде настольного переносного

- вольтметр $V1$ для измерения напряжения на вторичной обмотке трансформатора;
- миллиамперметр A для измерения величины среднего выпрямленного тока;
- вольтметр $V2$ для измерения величины среднего выпрямленного напряжения;
- гнезда «1» - «5» для измерения напряжений и просмотра осциллограмм в различных точках схемы.

На задней части стенда находятся держатель предохранителя, клемма заземления, шнур питания.

3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.

3.1 **Задание первое.** Ознакомиться с принципом действия основных однофазной и двухфазной схем выпрямителей, работающих при различных видах нагрузки.

Методические указания

Для выполнения задания необходимо проработать материал, изложенный в [1 с.460-474]. При этом следует внести в отчёт по лабораторной работе принципиальные схемы основных однофазной и двухфазной схем выпрямителей и потенциально-временные диаграммы напряжений в различных точках этих схем.

3.2 **Задание второе.** Провести расчёт однофазной схемы выпрямителя, работающего на активную нагрузку. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 1, где U_0 – постоянная составляющая выпрямленного напряжения, I_0 – постоянная составляющая выпрямленного тока.

Таблица 1.1

№ Вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U_0 , В	5	6	9	12	15	20	24	27	30	40	48	60	80
I_0 , mA	100	90	80	70	60	50	40	30	25	20	15	10	5

продолжение таблицы 1.1

№ вар.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
U_0 , В	60	48	40	30	27	24	20	15	12	9	6	5
I_0 , mA	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	90	100

Примечание: номер варианта задания соответствует номеру курсанта по журналу преподавателя.

Методические указания

В процессе расчета однофазной схемы выпрямителя необходимо определить:

- действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора:

$$U_2 = \frac{\pi U_0}{\sqrt{2}} = 2,22U_0 \quad (1.1)$$

- амплитудное значение вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{2m} = \pi U_0 = 3,14U_0 \quad (1.2)$$

- максимальное обратное напряжение на диоде:

$$U_{\text{Добр}} = U_{2m} \quad (1.3)$$

- действующий ток во вторичной обмотке трансформатора, равный току диода:

$$I_2 = \frac{\pi}{2} I_0 = 1,57I_0 \quad (1.4)$$

- максимальный ток диода:

$$I_{\text{Д max}} = \pi I_0 = 3,14I_0 \quad (1.5)$$

- полезная мощность, отдаваемая выпрямителем:

$$P_0 = U_0 \cdot I_0 \quad (1.6)$$

- мощность вторичной обмотки трансформатора:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = \frac{\pi^2}{2\sqrt{2}} U_0 I_0 = 3,49P_0 \quad (1.7)$$

- коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_0} \quad (1.8)$$

3.1 Задание третье. Используя исходные данные своего варианта (табл.1.1) рассчитать коэффициент пульсаций и максимальное обратное напряжение на диоде при подключении параллельно нагрузке конденсатора C , ёмкостью 100мкФ. При расчёте пренебречь изменениями U_0 и I_0 , связанными с подключением ёмкости. Принять частоту сети $f=50$ Гц.

- максимальное обратное напряжение на диоде

$$U_{\text{Добр}} = 2U_{2m} = 2\pi U_0 = 6,28U_0 \quad (1.9)$$

- коэффициент пульсаций

$$K_{\text{П}} = \frac{U_{\text{П}}}{U_0} = \frac{I_0}{2U_0 \cdot C \cdot f}, \quad (1.10)$$

где $I_0 - A$, $U_0 - B$, $C - \Phi$, $f - \Gamma\text{ц}$

4. Лабораторные задания и методические задания по их выполнению

4.1 Задание первое. Снять потенциально-временные диаграммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора, диода и на нагрузке однофазной схемы выпрямителя при активной и ёмкостной реакциях нагрузки.

Методические указания

Для исследования однофазного однополупериодного выпрямителя тумблер SA2 следует перевести в положение «выкл». Тумблером SA5 подключить активную нагрузку. Для снятия потенциально-временных диаграмм напряжений установить сопротивление нагрузки «R1» в положение, указанное преподавателем, подключить осциллограф к гнездам «4» и «5» при снятии диаграммы напряжения на нагрузке и к гнездам «1», «2» и «1», «3» при снятии диаграмм напряжений на вторичной обмотке трансформатора и диоде соответственно.

При снятии потенциально-временных диаграмм напряжений при активной нагрузке положение тумблеров SA3 и SA4

mA									
U_0 , В									
U_{mi} , В									
K_{II}									

4.3 Задание третье. Снять потенциально-временные диаграммы напряжений на нагрузке двухфазной схемы выпрямителя при: а) активной и б) ёмкостной нагрузках.

Методические указания

Для исследования двухфазного двухполупериодного выпрямителя тумблер SA2 следует перевести в положение «вкл». В остальном воспользоваться методическими указаниями к первому заданию.

4.4 Задание четвёртое. Снять внешнюю характеристику и зависимость K_{II} от тока I_0 при : а) активной и б) ёмкостной нагрузках двухфазной схемы выпрямителя. При выполнении этого задания воспользоваться методическими указаниями ко второму заданию.

5 . Требования к выполнению отчёта

Отчёт выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210x297) и должен содержать:

цель работы;

- схемы исследуемых выпрямителей;
- расчеты в соответствии с вариантом домашнего задания;
- результаты измерений, представленные в виде таблиц и графиков согласно лабораторным заданиям;
- потенциально-временные диаграммы напряжений при различных видах нагрузки, снятые экспериментально;
- выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Принцип действия основной однофазной схемы выпрямителя.

2. Принцип действия основной двухфазной схемы выпрямителя.
3. Преимущества и недостатки основной однофазной схемы выпрямителя.
4. Преимущества и недостатки двухфазной схемы выпрямителя.
5. Порядок расчета схемы выпрямителя с активной нагрузкой.
6. Какие параметры схемы выпрямления изменяются при подключении конденсатора параллельно активной нагрузке и почему?
7. Перечислить параметры, которые задаются при расчёте схемы выпрямителя.
8. Какие причины могут вызвать появление пульсаций с частотой сети на нагрузке выпрямителя?
9. Что представляет собой внешняя характеристика выпрямителя?
10. Порядок снятия потенциально-временных диаграмм напряжений выпрямителя с помощью осциллографа.
11. Изобразить и объяснить потенциально-временные диаграммы напряжений на нагрузке и на диоде однофазной схемы выпрямителя.

Лабораторная работа 2 **Исследование сглаживающих фильтров**

1. Цель работы: изучить принцип действия сглаживающих фильтров, приобрести навыки расчета и экспериментального исследования основных характеристик пассивных сглаживающих фильтров.

2. Описание лабораторного стенда Конструктивно лабораторный стенд выполнен в виде настольного переносного прибора на лицевой панели которого изображена исследуемая электрическая принципиальная схема (рис.2.1).

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

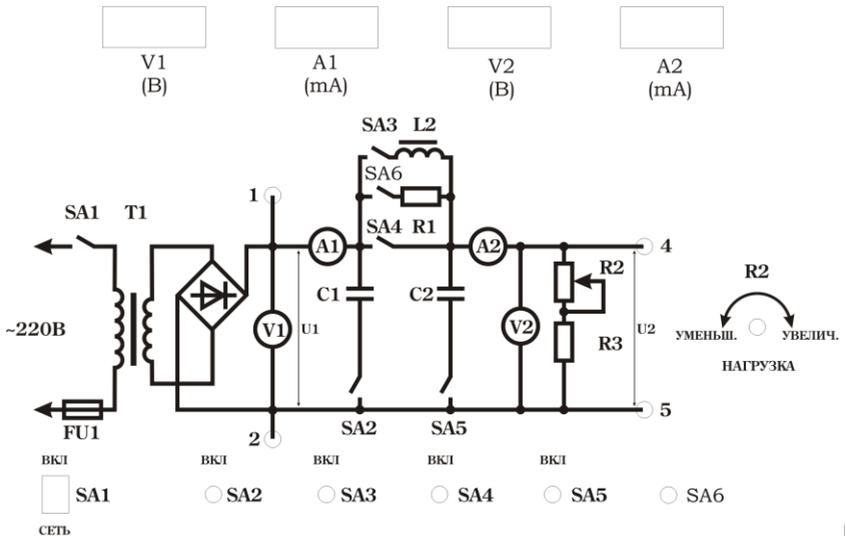


Рис.2.1. Внешний вид лицевой панели лабораторного стенда «Сглаживающие фильтры»

На лицевой панели стенда расположены:

- тумблер включения стенда SA1 с индикатором включения сети;
- тумблеры SA2 –SA6, позволяющие исследовать различные сглаживающие фильтры и полностью отключать их переводя работу выпрямителя на чисто активную нагрузку
- ручка регулировки активного сопротивления нагрузки «R2 нагрузка»;
- вольтметр V1 для измерения напряжения на вторичной обмотке трансформатора;
- вольтметр V2 для измерения величины среднего выпрямленного напряжения на нагрузке;
- миллиамперметры A1 и A2 для измерения величины среднего выпрямленного тока в нагрузке;

- гнезда «1» - «5» для подключения осциллографа и просмотра осциллограмм в различных точках схемы

На задней части стенда находятся держатель предохранителя, клемма заземления, шнур питания.

3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.

3.1 **Задание первое.** Ознакомиться с принципом действия сглаживающих фильтров.

Методические указания

Для выполнения задания необходимо проработать материал, изложенный в [1 с.478-484]. При этом следует внести в отчёт по лабораторной работе принципиальные схемы сглаживающих фильтров.

3.2 **Задание второе.** Рассчитать параметры RC фильтра, работающего на входе двухфазного двухполупериодного выпрямителя напряжения согласно исходным данным, приведенным в табл 2.1: $U_{mi\text{ вых}}$ –переменная составляющая на выходе фильтра, R_n –сопротивление нагрузки, U_0 –среднее выходное напряжение на выходе фильтра.

Таблица 2.1

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U_0 , В	5	6	9	12	15	20	24	27	30	40	48
R_n , кОм	0,4	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5	3,3	4,0
$U_{mi\text{ вых}}$, В	5	10	15	30	20	25	30	35	40	50	60

продолжение таблицы 2.1

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
60	80	60	48	40	30	27	24	20	15	12	9	6
5,0	6,6	4,0	3,2	2,7	2,0	1,8	1,6	1,3	1,0	0,8	0,8	0,4
80	100	76	55	45	35	30	25	20	15	10	5	5

Методические указания

Коэффициент пульсаций на выходе фильтра:

$$K_{ПВЫХ} = \frac{U_{m\text{ВЫХ}}}{U_0} \quad (2.1)$$

Коэффициент пульсаций на входе фильтра:

$$K_{ПВХ} = \frac{2}{(m^2 - 1)} \quad (2.2)$$

где m-число фаз выпрямителя

Падение напряжения на резисторе фильтра Rф:

$$\Delta U_0 \approx 0,2U_0 \quad (2.3)$$

Среднее выпрямленное напряжение на входе фильтра:

$$U_{0вх} = U_0 + \Delta U_0 \quad (2.4)$$

Сопротивление резистора фильтра:

$$R_{\phi} = \frac{\Delta U_0}{I_0} = \frac{\Delta U_0 \cdot R_H}{U_0} \quad (2.5)$$

(сопротивление резистора Rф выбирается ближайшее по номиналу)

Напряжение пульсаций на входе фильтра:

$$U_{m,вх} = K_{Пвх} \cdot U_{0вх} \quad (2.6)$$

Коэффициент сглаживания пульсаций:

$$K_{сз} = \frac{K_{Пвх}}{K_{Пвых}} \quad (2.7)$$
$$K_{сз} = \omega_i C \frac{R_{\phi} \cdot R_n}{R_n + R_{\phi}}$$

где $\omega_i = 2\omega = 2 \cdot 100\pi$ –угловая частота основной гармоники выпрямленного напряжения

Емкость конденсатора сглаживающего фильтра:

$$C = \frac{K_{сз} (R_n + R_{\phi})}{\omega_i \cdot R_n \cdot R_{\phi}} \quad (2.8)$$

где C - в Ф.

(Примечание: емкость конденсатора C выбирается ближайшее по номиналу. Если емкость конденсатора окажется большой,

его можно заменить несколькими параллельно соединенными конденсаторами).

4. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению

4.1 **Задание первое.** Определить зависимость коэффициента сглаживания пульсаций RC-фильтра от значений тока нагрузки и зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра.

Методические указания

Подключить RC –фильтр в исследуемой схеме. Для этого установить переключателем SA2, SA3, SA4 в положение «выкл»; переключатель SA6, обеспечивающий подключение резистора фильтра R1 в положение “вкл”; переключатель SA5, обеспечивающий подключение емкости фильтра C2 в положение «вкл».

Подключить осциллограф к соответствующим клеммам на стенде. и зарисовать форму напряжений на входе и выходе фильтра.

Изменяя ток нагрузки резистором R2 от минимального до максимального, измерять постоянную ($U_{0\text{ вх}}, U_{0\text{ вых}}$) и переменную ($U_{\text{мивх}}, U_{\text{мивых}}$) составляющие напряжений на входе и выходе фильтра Результаты измерений занести в таб.2.2.

По данным таблицы 2.2, используя формулы (2.1), (2.2), (2.7) , рассчитать коэффициенты пульсаций $K_{п\text{ вх}}, K_{п\text{ вых}}$, коэффициент сглаживания $K_{сг}$,занести эти данные в таблицу 2.2 и построить графики

$$K_{сг} = f(I_0), U_{0\text{ вх}} = f(I_0) \quad (2.9)$$

Таблица 2.2

$I_0,$ mA									показания амперметра A2
$U_{0\text{ вх}},$ В									показания вольтметра V1
$U_{0\text{ вых}},$ В									Показания вольтметра

									V2
U_{mi} вх, В									Показания осциллографа на клеммах 1, 2
U_{mi} вых, В									Показания осциллографа на клеммах 4,5
$K_{П\text{ вх}}$									
$K_{П\text{ вых}}$									
$K_{сг}$									

4.2 Задание второе. Определить зависимость коэффициента сглаживания пульсаций LC-фильтра от значения тока нагрузки и зарисовать осциллограммы напряжения на входе и выходе фильтра.

Методические указания

Подключить LC фильтр в исследуемой схеме. Для этого установить переключатели SA2, SA4, SA6 в положение «выкл», а переключатель SA3 в положение «вкл», соответствующее включению дросселя фильтра L, переключатель SA5, обеспечивающий подключение ёмкости фильтра C2 в положение «вкл».

Подключить осциллограф к соответствующим клеммам на стенде, провести аналогичные измерения, соответствующие первому заданию. Результаты измерений занести в табл.2.3, аналогичную табл.2.2. Построить графики $K_{cm}=f(I_0)$ и $U_{0вых}=f(I_0)$ для исследуемого фильтра. Сравнить графики $K_{сг} = f(I_0), U_{0вых} = f(I_0)$ для фильтров типа RC и LC, сделать выводы.

5. Требования к выполнению отчёта

Отчёт выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210x297) и должен содержать:

- цель работы;
- схемы исследуемых выпрямителей;
- расчеты в соответствии с вариантом домашнего задания;

- результаты измерений, представленные в виде таблиц и графиков согласно лабораторным заданиям;
- потенциально-временные диаграммы напряжений при различных видах нагрузки, снятые экспериментально;
- выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Что называется сглаживающим фильтром?
2. Для каких целей применяются сглаживающие фильтры?
3. Какие требования предъявляются сглаживающим фильтрам?
4. Что называют коэффициентом сглаживания фильтра?
5. Где применяют простейшие индуктивные и ёмкостные фильтры?
6. Принцип работы LC фильтра.
7. Проанализируйте формулу для коэффициента сглаживания Г-образного индуктивно-ёмкостного фильтра.
8. В каких случаях применяют резистивно-ёмкостные фильтры?
9. Порядок расчёта RC фильтра.
10. Как влияют фильтры на внешнюю характеристику выпрямителя?
11. Принцип работы транзисторного фильтра.
12. Почему транзистор выполняет роль индуктивной катушки в активном фильтре?

Лабораторная работа 3

Исследование регулируемого источника питания

1. Цель работы: изучить принцип действия основных схем линейных регулируемых источников питания, выполненных на основе стабилизаторов напряжения с обратной связью. Приобрести практические навыки расчета и экспериментального исследования основных характеристик этих источников питания.

2. Описание лабораторного стенда Конструктивно лабораторный стенд выполнен в виде настольного переносного прибора на лицевой панели которого изображена исследуемая электрическая принципиальная схема (рис.3.1), основой которой является микросхемный стабилизатор DA1.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

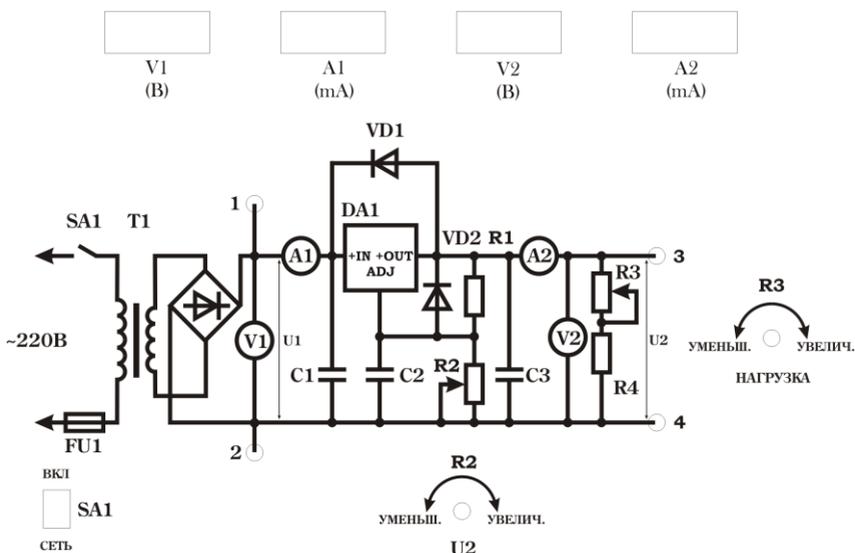


Рис.3.1. Внешний вид лицевой панели лабораторного стенда «Регулируемый источник питания»

На лицевой панели стенда расположены:

- тумблер включения стенда SA1 с индикатором включения сети;
- ручка регулировки активного сопротивления нагрузки «R3- нагрузка»;
- «R2»- ручка регулировки выходного напряжения U2 источника питания .
- вольтметр V1 для измерения напряжения U1 на выходе выпрямителя;

- вольтметр V2 для измерения выходного напряжения на нагрузке;
- миллиамперметры A1 и A2 для измерения величины тока на входе и выходе источника питания;
- гнезда «1» - «4» для подключения осциллографа и просмотра осциллограмм в различных точках схемы.

На задней части стенда находятся держатель предохранителя, клемма заземления, шнур питания.

3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.

3.1 Задание первое. Ознакомиться с принципом действия непрерывных регулируемых источников питания на основе стабилизаторов напряжения с обратной связью : транзисторных; использующих операционные усилители; выполненных на трёхполюсных интегральных схемах.

Методические указания

Для выполнения задания необходимо проработать материал, изложенный в [1 с.484-492]. При этом следует внести в отчёт по лабораторной работе принципиальные схемы основных типов стабилизаторов, выполненных на основе транзисторов, операционных усилителей, интегральных схем.

3.3 Задание второе. Для схемы стабилизатора, выполненного на трёхполюсной интегральной схеме с регулируемым выходным напряжением (рис.3.1) определить сопротивление резистора R2 согласно исходным данным таблицы 3.1

3.4

Таблица 3.1

№ Вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Uвх,В	19,5	18	17	16	15	14,5	13,5	13	12	11,5	11
Uоп,В	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Iупр,мкА	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
R1,Ом	240	220	180	150	120	240	220	180	150	120	
Uо,В	15	15	13	12,5	11,5	10	8	5	3	6	7

Продолжение таблицы 3.1

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
240	220	240	180	150	120	180	150	220	240
4	3	2	3,5	4,5	10	14	8	7	13

Примечание: $U_{вх}$ (табл.3.1) соответствует входному напряжению U_1 (рис.3.1); U_0 (табл.3.1) соответствует выходному напряжению U_2 (рис.3.1); $I_{упр}$ (табл.3.1) соответствует току управляющего электрода ADJ микросхемы DA1; $U_{оп}$ – опорное напряжение микросхемы DA1.

Методические указания

1. Проверка необходимого превышения входного напряжения над выходным:

$$U_{вх} - U_0 \geq 3В \quad (3.1)$$

2. Определить R_2 , подставляя соответствующие значения в выражение:

$$U_0 = U_{оп} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.2)$$

4. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению

4.1 **Задание первое.** Определить нестабильность по току, определяемую как изменение выходного напряжения, выраженное в процентах, вызванное изменением тока нагрузки от минимального до максимального:

$$(\Delta U_0 / U_0) 100\% = f(I_{0\min} - I_{0\max}), \quad (3.3)$$

где ΔU_0 - среднее значение падения напряжения на микросхеме DA1.

Методические указания

Резистор «R3-нагрузка» установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному току нагрузки. Резистором R_2 установить на выходе источника питания напряжение $U_{01} = 0,5U_{0\max}$. Изменяя величину тока от $I_{0\min}$ до $I_{0\max}$ записать соответствующие отклонения напряжения U_{01} в таблицу 3.2

Таблица 3. 2

$U_{01} = 0,5U_{0max}$										
$U_{01},$ В										
$I_{01},$ mA										

По данным табл.3.2 построить график зависимости $(\Delta U_{01}/U_{01})100\% = f(I_{01min} - I_{0max})$. Повторить проделанное для $U_{02} = 0,75U_{0max}$ и $U_{03} = U_{0max}$. Найти среднее значение нестациональности напряжения по току для данного источника питания.

4.2 Задание второе. По данным таблицы 3.2 определить выходное сопротивление источника питания, определяемое как отношение приращения напряжения на выходе источника питания к вызвавшему его приращению тока нагрузки при постоянстве входного напряжения и других дестабилизирующих факторов:

$$R_i = - \frac{\Delta U_0}{\Delta I_H} \quad (3.4)$$

Знак минус показывает, что с ростом тока нагрузки выходное напряжение (напряжение на нагрузке U_H) уменьшается и наоборот, с уменьшением тока нагрузки выходное напряжение увеличивается.

4.3 Задание третье. Определить зависимость коэффициента пульсаций на входе ($K_{п\text{ вх}}$) и выходе ($K_{п\text{ вых}}$) источника питания при различных значениях тока нагрузки.

Методические указания

Установить на выходе источника питания среднее значение выходного напряжения. Изменяя значения тока нагрузки от I_{min} до I_{max} измерять напряжения пульсаций на входе ($U_{ml\text{ вх}}$) и ($U_{ml\text{ вых}}$) источника питания. Напряжения пульсаций измеряются осциллографом на входе источника питания (в контрольных точках 1, 2 измеряется $U_{ml\text{ вх}}$, в контрольных точках 3, 4 измеряется $U_{ml\text{ вых}}$). Значения напряжений $U_{0\text{ вх}}$, $U_{0\text{ вых}}$ измеряются вольтметрами V1 и V2 соответственно. Данные занести в таблицу 3.3

Таблица 3.3

$U_0=0,5U_{0max}$						
$I_0, \text{ mA}$						
$U_{m1вх}, \text{ mB}$						
$U_{m1вых}, \text{ mB}$						
$U_{0вх}, \text{ B}$						
$U_{0вых}, \text{ B}$						
$K_{п вх} = \frac{U_{mi}}{U_{0вх}}$						
$K_{п вых} = \frac{U_{mi}}{U_{0вых}}$						

По данным таблицы 3.3 построить график зависимости $K_{п вых} = f(I_0)$

4.4 Задание четвертое. По данным таблицы 3.3 определить коэффициент сглаживания пульсаций (коэффициент подавления пульсаций), определяемый как отношение входного и выходного напряжения пульсаций:

$$K_{ce} = \frac{K_{пвх}}{K_{пвых}} = \frac{U_{miвх}}{U_{miвых}} \quad (3.5)$$

4.5 Задание пятое. Определить зависимость КПД источника питания, определяемый как отношение общей выходной мощности P_2 к входной мощности P_1 , выраженный в процентах (обычно определяется по предельной нагрузке и номинальному выходному напряжению).

Методические указания

Установить на выходе источника питания выходное напряжение $U_{0вых}=0,5U_{0max}$. Изменяя величину тока от I_{min} до I_{max} записать соответствующие значения напряжений и токов на входе и выходе источника питания в таблицу 3.4

Таблица 3.4

$U_0=0,5U_{0max}$

$U_{01ВХ}, В$								
$I_{01ВХ}, А$								
$U_{02ВЫХ}, В$								
$I_{02ВЫХ}, А$								
$P1=U_{01} \cdot I_{01}, Вт$								
$P2=U_{02} \cdot I_{02}, Вт$								
$КПД=(P1/P2)100\%$								

По данным таблицы 3.4 рассчитать значения $P1$, $P2$, КПД ; занести эти значения в табл.3.4, построить график зависимости $КПД = f(I_0)$. Повторить проделанное для $U_0=U_{0max}$ и $U_0= U_{0min}$.

4.6 Задание шестое. По данным таблицы 3.4 построить график зависимости тока потребления ($I_{ВХ}$) от выходного тока ($I_{ВЫХ}$) при постоянном напряжении на выходе источника питания, равного одному из значений U_0 ($U_0=0,5U_{0max}$ или $U_0=U_{0max}$): $I_{ВХ}= f(I_{ВЫХ})$ при $U_0=const$.

5. Требования к выполнению отчёта

Отчёт выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210х297) и должен содержать:

- цель работы;
 - схемы регулируемых источников питания на основе стабилизаторов напряжения с обратной связью: транзисторных, на операционном усилителе, на трёхполюсной интегральной схеме;
 - расчеты в соответствии с вариантом домашнего задания;
 - результаты измерений, представленные в виде таблиц и графиков согласно лабораторным заданиям;
- выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Основные требования к современным источникам питания.
2. Принцип действия транзисторного стабилизатора напряжения с регулируемым выходом.

3. Принцип действия стабилизатора напряжения на основе операционного усилителя и трёхвыводных интегральных схемах.

4. Особенности схемотехники и работы источников питания с непрерывным (линейным) регулированием выходного напряжения.

5. Достоинства и недостатки источников питания с непрерывным (линейным) регулированием выходного напряжения.

6. Порядок расчета источника питания на основе трёхполюсной интегральной схемы.

7. Почему источники питания, выполненные на основе транзисторов или интегральных схем обладают очень высоким коэффициентом подавления пульсаций?

8. С чем связан недостаточно высокий КПД линейных источников питания и какие существуют пути его повышения?

9. Почему источники питания, выполненные на интегральных стабилизаторах имеют, как правило, минимальное выходное напряжение отличное от нуля?

10. Почему КПД источника питания на основе стабилизатора с непрерывным регулированием понижается при понижении выходного напряжения?

Лабораторная работа 4 Импульсный источник питания

1. Цель работы: изучить принцип действия основных схем импульсных источников питания. Приобрести практические навыки расчета и экспериментального исследования основных характеристик этих источников питания.

2. Описание лабораторного стенда. Конструктивно лабораторный стенд выполнен в виде настольного переносного прибора на лицевой панели которого изображена исследуемая электрическая принципиальная схема импульсного источника питания с повышением и стабилизацией выходного напряжения, выполненного с применением интегральной микросхемы DA1 (рис.4.1).

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

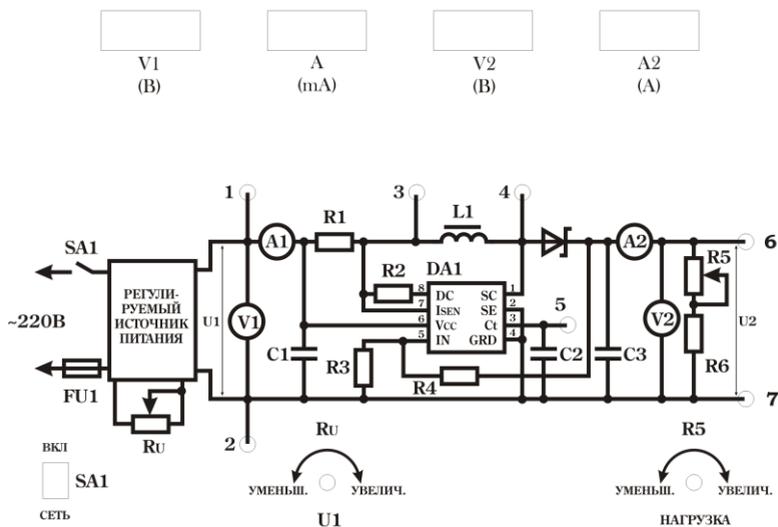


Рис.4.1. Внешний вид лицевой панели лабораторного стенда «Импульсный источник питания»

В качестве источника входного напряжения применён линейный регулируемый источник стабилизированного напряжения, с пределами регулирования $U_1=U_{вх}=2-15В$, выполненный также с применением интегральной микросхемы.

На лицевой панели стенда расположены:

- тумблер включения стенда SA1 с индикатором включения сети;
- ручка регулировки активного сопротивления нагрузки импульсного источника питания «R5- нагрузка»;
- «R_ц»- ручка регулировки выходного напряжения U1 линейного источника питания
- вольтметр V1 для измерения напряжения U1 на выходе линейного источника питания и на входе импульсного источника питания;
- вольтметр V2 для измерения выходного напряжения на нагрузке;
- миллиамперметры A1 и A2 для измерения величины тока на входе и выходе источника питания;
- гнезда «1» - «7» для подключения осциллографа и просмотра осциллограмм в различных точках схемы: 1,2-для измерения пульсаций на входе импульсного источника питания; 6,7 -для измерения пульсаций на выходе источника питания; 3, 4- для просмотра осциллограмм на дросселе и измерения частоты коммутации преобразователя.

На задней части стенда находятся держатель предохранителя, клемма заземления, шнур питания.

3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.

3.1 Задание первое. Ознакомиться с принципом действия основных схем импульсных источников питания: понижающих, повышающих и инвертирующих входное напряжение

Методические указания

Для выполнения задания необходимо проработать материал, изложенный в [1 с.492-496]. При этом следует внести отчёт по лабораторной работе функциональные схемы основ-

ных импульсных источников питания: понижающих, повышающих и инвертирующих входное напряжение.

3.2 **Задание второе.** Для схемы импульсного источника питания ,изображённой на рис.4.2а рассчитать выходное напряжение согласно исходным данным таблицы 4.1 ($\Delta U_{вх}$ не учитывать).

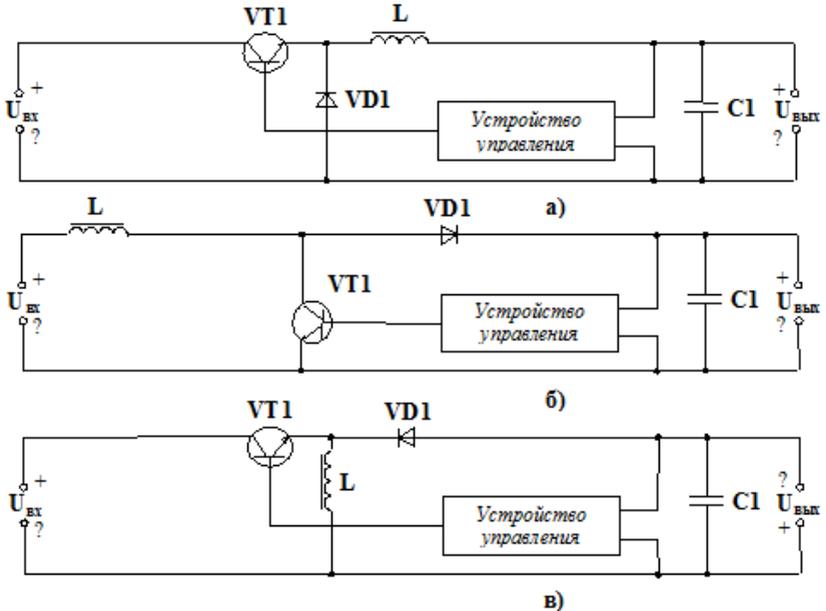


Рис 4.2 Схемы импульсных источников питания: а) понижающего входное напряжение,б) повышающего входное напряжение, в) инвертирующего входное напряжение.

Примечание: номер варианта задания соответствует номеру курсанта по журналу преподавателя. $U_{вх}$ (табл.4.1) соответствует входному напряжению U_1 (рис.4.1).

Методические указания

Когда VT1 включён на время $t_{вкл}$ и период коммутации этого транзистора $T=t_{вкл}+t_{выкл}$, то выходное напряжение :

$$U_{вых}=U_{вх}(t_{вкл}/T) \tag{4.1}$$

Таблица 4.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

вар.												
$U_{\text{вх}},$ В	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	
$t_{\text{вкл}},$ мкс	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	
T, мкс	40	20	10	40	20	10	40	20	10	40	20	
$\Delta U_{\text{вх}},$ В	5	6	7	5	6	1	2	3	4	1	2	

продолжение таблицы 4.1

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
5	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4
20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10
10	40	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2

3.3 Задание третье. Предположим, что $U_{\text{вх}}$ в предыдущем задании увеличилось на $\Delta U_{\text{вх}}$. Рассчитайте время включения так, чтобы $U_{\text{вых}}$ оставалось неизменным. При этом считайте, что период следования коммутирующих импульсов $T=t_{\text{вкл}}+t_{\text{выкл}}$ остался постоянным.

3.4 Задание четвёртое. Для варианта задания (табл.4.1) рассчитать рабочую частоту коммутации импульсного источника питания.

3.5 Задание пятое. Рассчитать выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ для схемы, изображённой на рис.4.2(б) согласно исходным данным табл.4.1 ($\Delta U_{\text{вх}}$ не учитывать).

Методические указания

Если пренебречь потерями и падением напряжения на коммутирующих элементах:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{1 - K_3} = \frac{U_{\text{вх}}}{1 - t_{\text{вкл}}/T} \quad (4.2)$$

В									
U _{ВЫХ} , В									
K _{ПН}									

4.2 **Задание второе.** Используя данные измерений таб.4.2 определить коэффициент повышения напряжения:

$$K_{ПН} = U_{ВХ} / U_{ВЫХ} \quad (4.4)$$

Значения расчётов занести в таблицу 4.2. Построить график зависимости $K_{ПН} = f(U_{ВХ})$. Объяснить эту зависимость.

4.3 **Задание третье.** Определить нестабильность по входному напряжению:

$$K_{СТУ} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ.Н}) / (\Delta U_{ВЫХ} / \Delta U_{ВЫХ.Н}) \quad (4.5)$$

Методические указания

Нестабильность по входному напряжению является основным параметром, характеризующим работу стабилизатора. Мерой её измерения является коэффициент стабилизации, равный отношению относительного изменения напряжения на входе к относительному изменению напряжения на выходе стабилизатора. Для определения коэффициента стабилизации воспользоваться данными измерений таб.4.2.

4.4 **Задание четвёртое.** Определить нестабильность по току нагрузки. Нестабильность напряжения по току нагрузки определяется как изменение выходного напряжения, выраженное в процентах, вызванное изменением тока нагрузки от минимального до максимального.

Методические указания

Резистор нагрузки «R5-нагрузка» установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному току нагрузки. Резистором R_У установить на входе источника питания (выходе регулируемого источника питания) напряжение $U_{01} \approx 0,5 U_{01max}$. Изменяя величину выходного тока от I_{0min} до I_{0max} записать соответствующие отклонения напряжения $\Delta U_0 = \Delta U_2$ на выходе импульсного источника питания в табл.4.3.

$U_{01} \approx 0,5 U_{01max}$				
$\Delta U_2, \text{ В}$				
$I_0, \text{ mA}$				
$\Delta I_0, \text{ mA}$				

По данным табл.3 построить график зависимости $(\Delta U_2/U_{01})100\% = f(I_{0min} - I_{0max})$. Повторить проделанное для $U_{01} \approx 0,75 U_{01max}$ и $U_{01} \approx U_{01max}$. Найти среднее значение нестациональности напряжения по току для данного источника питания.

4.5. Задание пятое. По данным табл.4.3 определить выходное сопротивление источника питания, определяемое как отношение приращения напряжения на выходе источника питания к вызвавшему его приращению тока нагрузки при постоянстве входного напряжения и других дестабилизирующих факторов:

$$R_i = - \Delta U_o / \Delta I_n \quad (4.6)$$

Знак минус показывает, что с ростом тока нагрузки выходное напряжение (напряжение на нагрузке U_n) уменьшается и наоборот, с уменьшением тока нагрузки выходное напряжение увеличивается.

4.6 Задание шестое. Определить зависимость коэффициента пульсаций на входе ($K_{п\text{ вх}}$) и выходе ($K_{п\text{ вых}}$) источника питания при различных значениях тока нагрузки.

Методические указания

Ручкой R_U установить на входе источника питания среднее значение напряжения входа ($U_{0вх1} > U_{вх\text{ min}}$). Записать значение $U_{вх}$ в табл.4.4. Изменяя значения тока нагрузки от I_{min} до I_{max} измерять напряжения пульсаций на входе ($U_{m1\text{ вх}}$) и выходе ($U_{m1\text{ вых}}$) источника питания. Напряжения пульсаций измеряются осциллографом на входе источника питания (в контрольных точках 1, 2 измеряется $U_{mi\text{ вх}}$, в контрольных точках 6, 7 измеряется $U_{mi\text{ вых}}$). Значения напряжений $U_{0\text{ вх}}$, $U_{0\text{ вых}}$ измеряются вольтметрами V1 и V2 соответственно. Данные измерений занести в таблицу 4.4

Таблица 4.4

$U_{вх1} > U_{вх\text{ min}} =$

$I_{0 \text{ Вых}}, \text{ mA}$						
$U_{\text{mi Вх}}, \text{ mB}$						
$U_{\text{mi Вых}}, \text{ mB}$						
$U_{0 \text{ Вх}}, \text{ B}$						
$U_{0 \text{ Вых}}, \text{ B}$						
$K_{\text{п Вх}} = U_{\text{mi Вх}} / U_{0 \text{ Вх}}$						
$I_{0 \text{ Вых}}, \text{ mA}$						
$U_{\text{mi Вх}}, \text{ mB}$						

По данным табл.4.4 рассчитать значения коэффициентов пульсаций $K_{\text{ПВх}}$, $K_{\text{ПВых}}$ соответствующим значениям тока выхода. Данные занести в табл.4.4. По данным табл.4.4 построить график зависимости $K_{\text{Пвых}} = f(I_0)$.

4.7 Задание седьмое. По данным табл.4.4 определить коэффициент сглаживания пульсаций, (коэффициент подавления пульсаций), определяемый как отношение входного и выходного напряжения пульсаций (или $U_{\text{mi Вх}} / U_{\text{mi Вых}}$):

$$K_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{Пвх}}}{K_{\text{Пвых}}} \approx \frac{U_{\text{mi вх}}}{U_{\text{mi вых}}} \quad (4.7)$$

4.8 Задание восьмое. Снять зависимость КПД источника питания от значения напряжения на входе.

Методические указания

Установить сопротивление нагрузки «R5 - нагрузка» в среднее положение, соответствующее среднему току выхода $I_{2\text{Вых}}$. Меняя значение входного напряжения $U_{1\text{Вх}}$ от $U_{\text{Вх}} = U_{\text{Вх min}}$ до $U_{\text{Вх}} = U_{\text{Вх max}}$, фиксировать соответствующие изменения тока на входе источника питания $I_{1\text{Вх}}$ и напряжения и токи на выходе источника питания $U_{\text{Вых2}}$ и $I_{\text{Вых2}}$. Данные занести в табл. 4.5

Таблица 4.5

$U_{\text{Вх1}}, \text{ B}$						
$I_{\text{Вх1}}, \text{ A}$						
$U_{\text{Вых2}}, \text{ B}$						
$I_{\text{Вых2}}, \text{ A}$						
$\text{КПД} = (P_2 / P_1) 100\%$						

По результатам измерений рассчитать значения КПД и построить график зависимости $KПД = f(U_{вх})$ при $U_{вых} = const B$, $I_{вых2} = A$. Повторить измерения при $I_{вых} > I_{вых2} \approx I_{вых \max}$ и построить аналогичный график.

4.9 Задание девятое. Определить тип модулятора импульсного источника питания (ШИМ – широтно-импульсная модуляция, ЧИМ – частотно-импульсная модуляция).

Методические указания

1. Установить сопротивление резистора R_U в среднее положение, соответствующее среднему входному напряжению источника питания.

2. Установить сопротивление резистора «R5 - нагрузка» в крайнее левое положение, соответствующее минимальному току выхода

3. Подсоединить осциллограф к контрольным точкам стенда «3» и «4».

4. Зарисовать эпюру напряжения и определить частоту f_1 преобразователя.

5. Установить сопротивление резистора в крайнее правое положение, соответствующее максимальной нагрузке и определить частоту f_2 преобразователя.

6. Определить тип модулятора. Если $f_1 = f_2$ это соответствует ШИМ, если $f_1 \neq f_2$ то это соответствует ЧИМ.

Сравнить КПД импульсного источника питания и линейного источника питания. Сделать вывод.

5. Требования к выполнению отчёта

Отчёт выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210x297) и должен содержать:

- цель работы;
- функциональные схемы основных импульсных источников питания: с повышением напряжения, с понижением напряжения, инвертирующих напряжение;
- расчеты в соответствии с вариантом домашнего задания;

- результаты измерений, представленные в виде таблиц и графиков согласно лабораторным заданиям;
- выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. На чём основан принцип работы импульсных преобразователей?
2. В чём основное преимущество и недостаток импульсного стабилизатора по сравнению с непрерывным.
3. Назовите основные типы импульсных стабилизаторов напряжения.
4. Какие типы модуляторов используются в импульсных стабилизаторах?
5. В чём заключается широтно-импульсное регулирование напряжения?
6. Укажите основные преимущества и недостатки широтно-импульсного и частотно-импульсного регулирования напряжения.
7. Принцип работы импульсного источника питания с понижением напряжения.
8. Принцип работы импульсного источника питания с повышением напряжения.
9. Принцип работы импульсного источника питания с инвертированием напряжения.
10. Написать выражения для расчёта выходного напряжения для понижающего, повышающего, инвертирующего импульсных источников питания.
11. Перечислите основные функции диода VD1, дросселя L и конденсатора C1 в импульсных источниках питания (рис.4.2).
12. Объяснить работу и назначение элементов схемы лабораторного стенда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий и др.;

Под.ред. О.П.Глудкина.-М.: Горячая линия – Телеком, 2002.-
768с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам №1-4 по дисциплине
«Проектирование вторичных источников питания РЭС» и
«Источники питания приборов» для студентов направления
11.03.03 «Конструирование и технология электронных
средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм
обучения

Составители:

Кондусов Василий Ананьевич
Самодуров Александр Сергеевич

Компьютерный набор А.С. Самодурова

Подписано к изданию _____.

Уч.-изд. л. _____.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический уни-
верситет»

394026 Воронеж, Московский проспект, 14