

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИРЭА

Подлежит возврату

№ 1364

В.К. Битюков, В.А.Петров

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлениям
210700.62 «Инфокоммуникационные технологии
и системы связи» и 211000.62 «Конструирование и технология
электронных средств»

*Утверждено редакционно-издательским советом МГТУ МИРЭА
в качестве методического пособия для студентов*

Подготовлено на кафедре теоретической радиотехники и радиофизики

Рецензенты: Г.В. Куликов,
В.Ю. Кириллов

Битюков В.К.

Электропитание устройств и систем телекоммуникаций : Методические указания по выполнению лабораторных работ / В.К. Битюков, В.А. Петров; под ред. Э.М. Черниговской. — М.: МГТУ МИРЭА, 2015. — 36 с.

В данных методических указаниях по выполнению лабораторных работ по дисциплинам “Электропитание устройств и систем телекоммуникаций” и “Физические основы преобразовательной техники” изложены вопросы схемотехники линейных и импульсных источников вторичного электропитания, а также регулируемых и нерегулируемых выпрямителей. Значительное внимание уделено методике экспериментального исследования их основных характеристик и параметров.

Данные методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств».

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по дисциплинам “Электропитание устройств и систем телекоммуникаций” и “Физические основы преобразовательной техники” выполняются на четырех учебных стендах, созданных на основе макетов, разработанных и изготовленных в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете “ЛЭТИ” (СПбГЭТУ) и одном учебно-научном стенде, целиком разработанным и изготовленным в МГТУ МИРЭА. Подробные описания макетов СПбГЭТУ приведены в [1], а стенд МГТУ МИРЭА описан в статье [2].

Цифровые системы сбора и обработки экспериментальных данных, используемые на всех пяти стендах, разработаны на кафедре теоретической радиотехники и радиофизики МГТУ МИРЭА и подробно описаны в [3, 4]. Система для макетов СПбГЭТУ базируется на использовании встроенного в макет аналого-цифрового преобразователя (АЦП), внешнего цифрового осциллографа GDS-820C и специально разработанного адаптера, предназначенного для ввода данных от АЦП макета через интерфейс RS-232 в персональный компьютер с тем, чтобы результаты измерений могли помещаться в офисные приложения WINDOWS для включения в отчет по лабораторной работе, а также использоваться для дальнейшей систематизации и обработки. Система сбора и обработки данных для макета МГТУ МИРЭА, кроме осциллографа GDS-820C, имеет внешний мультиметр Agilent 34405A и отличается тем, что в ней, наряду с кнопочным микроконтроллерным управлением, имеется возможность управлять макетом дистанционно с помощью его виртуальной лицевой панели, описанной в [4].

В этой связи перед началом выполнения лабораторных работ всем студентам необходимо изучить описание макетов в [1] и [2], описание осциллографа и программы Free Capture, мультиметра 34405A, а также адаптера для связи макетов СПбГЭТУ с компьютером и соответствующего программного обеспечения. Подробное описание схемотехнических решений, используемых в источниках вторичного электропитания (ИБЭ), можно найти в [5...7].

Лабораторная работа № 1

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИВЭ 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 стенда

Структурная схема стенда и принципиальная схема модуля накачки заряда представлены в [8]. Разработаны два типа макетов, отличающихся объектом исследований. Одним из таких объектов является микросхема МАХ1759 [9], другим – микросхема МСР1253 [10]. Микросхемы имеют отличия по некоторым параметрам. Функциональные схемы макетов отражены на их передних панелях. В качестве примера на рис. 1.1 показана одна из них.

На передней панели имеется выключатель питания макета от сети 220 В, шесть кнопок управления переключателями, гнезда ХТ1 и ХТ2 для измерения входного тока $I_{\text{ВХ}}$, ХТ3 и ХТ4 для измерения входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$, ХТ5 и ХТ6 для измерения выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, ХТ7 и ХТ8 для измерения выходного тока $I_{\text{ВЫХ}}$, ХТ9 и ХТ10 для вывода импульсов динамического управления нагрузкой и несколько индикаторов. Динамическое управление нагрузкой осуществляется путем периодического разрыва ее цепи. При этом период коммутации составляет примерно 300 мкс, а промежуток времени, в течение которого нагрузка находится в разрыве, составляет примерно 30 мкс. Входное напряжение изменяется с помощью переключателя SA1, напряжение на выходе микросхемы – с помощью переключателя SA2, сопротивление нагрузки – с помощью переключателя SA4, а подключение и отключение динамической нагрузки осуществляется с помощью переключателя SA3. Измерение $I_{\text{ВХ}}$ и $I_{\text{ВЫХ}}$ осуществляется путем измерения напряжения $U_{\text{ИЗМ}(I)}$ на выходе усилителей DA1 и DA3, которые подключаются к включенным в цепи измеряемых токов резисторам R1 и R19 сопротивлением

$R_I=0,2$ Ома. Усилители имеют коэффициент усиления $k_{yc} = 100$. В этом случае величина соответствующего тока может быть рассчитана по формуле

$$I = \frac{U_{изм(I)}}{R_I k_{yc}} \quad (1.1)$$

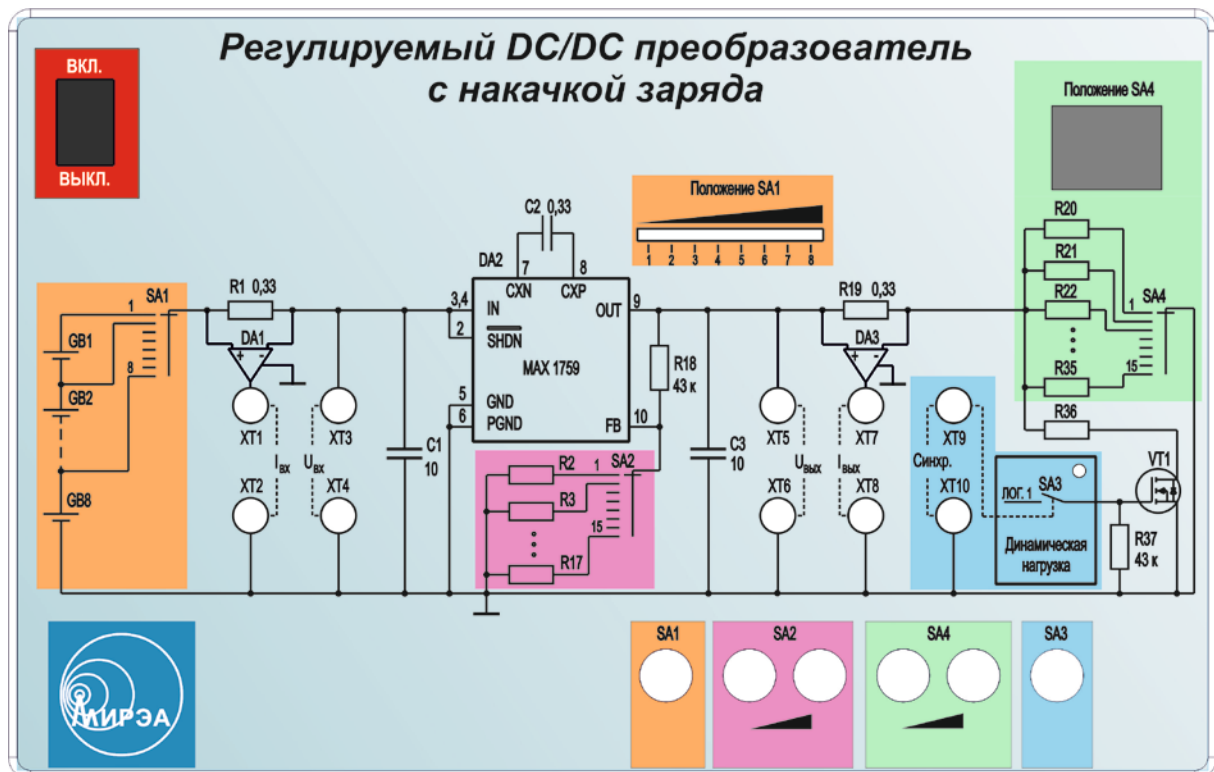


Рис. 1.1. Передняя панель макета с микросхемой MAX1759

Передняя панель макета с микросхемой MСР1253 выглядит аналогично представленной на рис. 1.1.

Используемые в качестве объекта исследований микросхемы MAX1759 и MСР1253 являются преобразователем DC-DC, 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 преобра-

зователь. Уникальные возможности поддержания выходного напряжения ниже или выше входного напряжения достигаются применением оригинальной схемы управления, которая реализует либо режим регулируемого удвоителя напряжения ($U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ВЫХ}}$), либо режим понижающего стробируемого ключа ($U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ВЫХ}}$), в зависимости от входного напряжения и тока нагрузки.

Все сигналы постоянного напряжения измеряются с помощью системы сбора данных на основе мультиметра 34405A. При этом целесообразно пользоваться программой IntuiLink+Word, позволяющей заносить результаты измерений в таблицу, заранее подготовленную в программе Word [11]. Регистрация форм переменных составляющих сигналов, подаваемых на закрытые входы осциллографа GDS-820C, осуществляется с помощью программы Free Capture, позволяющей в виде одного файла зафиксировать до 10 форм [3].

1.3. Программа выполнения работы

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с экспериментальным стендом и лабораторным макетом, изучить его переднюю панель, гнезда для подключения измерительного оборудования и кнопки управления, проверить надежность соединения осциллографа и компьютера через интерфейс RS-232. После этого включить компьютер, мультиметр, осциллограф и макет.

1.3.1. Исследование регулировочных характеристик $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$

Регулировочные характеристики представляют зависимость выходных параметров от входных. В схемах стабилизаторов напряжения выходными параметрами являются $U_{\text{ВЫХ}}$ и $I_{\text{ВЫХ}}$, а входными $U_{\text{ВХ}}$ и $I_{\text{ВХ}}$. 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 $U_{\text{ВХ}}$, уменьшать их число нецелесообразно. Но при каждом значении $U_{\text{ВХ}}$ для анализа работы преобразователя достаточно ограничиться тремя значениями $U_{\text{ВЫХ}}$, 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_n можно выбрать лишь два значения, например, минимальное значение $R_{n1}=50$ Ом (соответствует установке значения 15 на индикаторе положения *SA4*), и максимальное значение $R_{n2}=820$ Ом (положение 1 на том же индикаторе). Таким образом, для каждого из двух выбранных значений сопротивления нагрузки результаты измерений могут быть занесены в таблицы 1 и 2, аналогичные табл. 1.1, форма которой приведена ниже. Все значения выходного напряжения целесообразно устанавливать при максимальном значении напряжения на входе. Обозначим его как $U_{вых0}$.

Таблица 1.1. Результаты измерений при $R_{n1}=50$ Ом и $U_{вых0} \approx 2,5$ В

№ п/п	$U_{вх}$, В	$I_{вх}$, А	$U_{вых}$, В	$I_{вых}$, А	$U_{вых,р-р}$, мВ	КПД
1	5,5092	0,003054	2,4982	0,002941	240	0,44
...
8	1,6340	0,006044	2,4601	0,002901	85	0,72

В эту таблицу, кроме полученных с помощью мультиметра 34405 А результатов измерений $U_{вх}$, $I_{вх}$, $U_{вых}$ и $I_{вых}$, впоследствии будет целесообразно добавить результаты измерений на осциллографе GDS-820C величин пульсаций измерений выходного напряжения от пика до пика $U_{вых,р-р}$ и результаты расчета коэффициента полезного действия (КПД). Затем при установленном значении сопротивления нагрузки $R_{n1}=50$ Ом нужно провести аналогичные циклы измерений для двух других значений выходного напряжения $U_{вых0} \approx 3,6$ В и $U_{вых0} \approx 5,2$ В и их результаты занести в аналогичные таблицы 2 и 3. При выполнении подобных циклов измерений при R_{n2} будет нужно оформить еще 3 таблицы (таблицы 4...6).

1.3.2. Исследование форм переменных составляющих $U_{вых}$

Формы переменных составляющих выходного напряжения позволяют понять принцип и алгоритм работы конкретных DC-DC преобразователей с накачкой заряда. Поэтому нужно получить формы $U_{вых}$ для всех режимов, регулировочные характеристики которых будут представлены в табл. 1...6. Это нужно сделать с помощью осциллографа GDS-820C и программы Free Capture. В результате будут получены 6 файлов, в каждом из которых

сохранены формы 8 сигналов, соответствующих 8 значениям входного напряжения, постоянные значения которых приведены в каждой из таблиц 1...6. Для регистрации форм в осциллографе нужно установить закрытые входы для обоих каналов, при этом к каналу 1 подключить сигнал $U_{вх}$, а к каналу 2 сигнал $U_{вых}$. Можно использовать однократный запуск от сигнала в канале 1 возрастающим фронтом. Включая с помощью кнопки *SA1* различные значения входного напряжения $U_{вх}$, будут получены файлы с формами, пример которых показан на рис. 1.2.

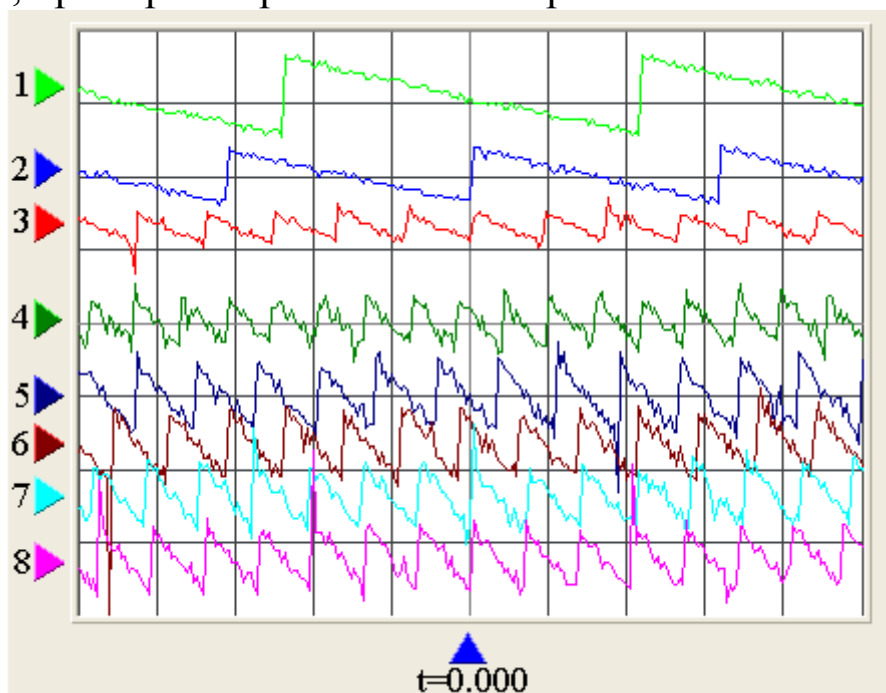


Рис. 1.2. Формы переменной составляющей выходного напряжения при $U_{вых} \sim 2,5 \text{ В}$, $R_{нл} = 50 \text{ Ом}$ и различных входных напряжениях: 1, 2 – 50 мкс/дел., 100 мВ/дел.; 3 – 50 мкс/дел., 50 мВ/дел.; 4, 5, 6, 7, 8 – 50 мкс/дел., 20 мВ/дел.

Всего при выполнении лабораторной работы должно быть получено 6 таких рисунков.

При проведении этих измерений целесообразно установить оптимальные условия регистрации форм переменной составляющей $U_{вых}$ в каждом режиме. В подписи к рис. 1.2 в качестве примера указаны цены делений, которые могут быть использованы при такой регистрации.

1.3.3. Исследование нагрузочных характеристик $U_{вых} = f(I_{вых})$

Для получения нагрузочных характеристик с помощью кнопок *SA4* путем переключения нагрузочных резисторов можно получить 15 пар значений $U_{вых}$ и $I_{вых}$ для каждого из значений вход-

ного напряжения $U_{\text{вх}}$. 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 $U_{\text{вх}}$: минимальное, которое составляет примерно 1,7 В, среднее, составляющее $\sim 3,0$ В, и максимальное $\sim 5,5$ В. При этом для каждого из приведенных величин входного напряжения значения выходного напряжения $U_{\text{вых0}}$ 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 мультиметра Agilent 34405 А и программы IntuiLink+Word. Результаты измерений можно заносить в предварительно заготовленную в программе Word таблицу. Пример оформления результатов для одного из значений входного напряжения приведен на стр. 14 в [8]. В этой таблице приведены значения тока $I_{\text{вых}}$, рассчитанные по формуле (1.1) на основании результатов измерений $U_{\text{изм}(I)}$ на клеммах ХТ7 и ХТ8.

Важное значение имеет зависимость форм пульсаций выходного напряжения от тока нагрузки. Пульсации также зависят от величин входного и выходного напряжения. С целью ограничения объема исследований достаточно провести регистрацию форм сигналов переменной составляющей выходного напряжения хотя бы для двух значений выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, примерно равных минимальному и максимальному значению 2,5 В и 5,2 В при одном и том же значении входного напряжения $U_{\text{вх}} \sim 5,5$ В. На рис. 6 в [8] в качестве примера показаны эти формы для одного из режимов.

1.4. Оформление отчета

Содержание отчета о работе должно отвечать требованиям, изложенным в соответствующем разделе [8] в пунктах 1...6.

Лабораторная работа № 2

ОДНОФАЗНЫЙ НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

2.1. Цель работы

Экспериментальное исследование процессов, протекающих в схемах однофазных неуправляемых выпрямителей, а также влияния пассивных сглаживающих фильтров на основные характеристики и параметры выпрямителей.

2.2. Описание лабораторного макета

На лицевой панели макета размещена упрощенная принципиальная электрическая схема (рис. 2.1), органы управления, индикации и измерения.

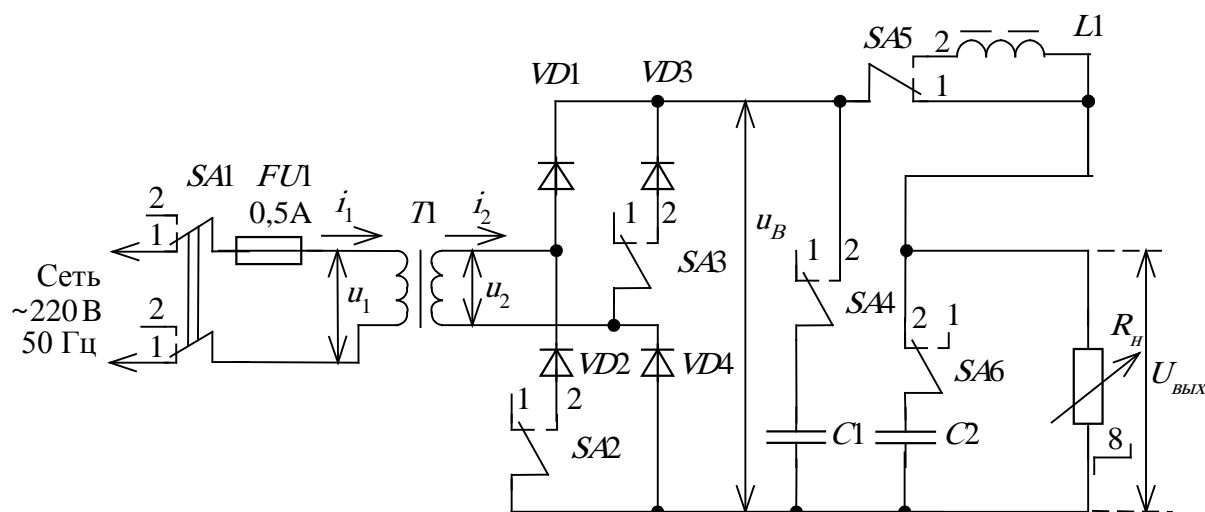


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования однофазных неуправляемых выпрямителей, работающих на резистивную, резистивно-емкостную и резистивно-индуктивную нагрузку

Лабораторный макет, помимо исследуемого выпрямителя, содержит встроенный мультиметр для измерения тока первичной обмотки трансформатора I_1 , тока вторичной обмотки трансформатора I_2 , напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 , выпрямленного напряжения до сглаживающего фильтра U_B , напряжения на нагрузке $U_{\text{вых}}$ и тока в цепи нагрузки I_H . Выбор указанных выше измеряемых параметров (амплитуда, среднее квад-

ратическое (действующее) значение, постоянная составляющая) осуществляется соответствующими кнопками, расположенными на лицевой панели макета снизу от дисплея.

В макете предусмотрена возможность дискретного изменения сопротивления нагрузки выпрямителя, схемы выпрямителя и вида сглаживающего фильтра. Ключи SA2 и SA3 позволяют реализовать однофазные одноктактную и двухтактную схемы выпрямления, а также одноктактную схему с обратным диодом. При этом функцию обратного диода выполняют последовательно включенные диоды VD3 и VD4. Состояние ключей индицируется соответствующими светодиодами.

Наличие двух выходов на внешний осциллограф (разъемы СР-50 на задней стенке макета) позволяет одновременно наблюдать формы токов и напряжений в различных точках схемы: i_1 , u_2 , i_2 , i_{VD1} , i_{VD3} , u_{VD1} , u_B , i_{C1} , u_H . Для исследования взаимосвязи сигналов во времени рекомендуется на один из каналов цифрового двухлучевого осциллографа постоянно подавать опорный сигнал (например, напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_2) и с помощью этого сигнала осуществлять запуск осциллографа. Последовательное подключение всех необходимых сигналов к выходам на осциллограф осуществляется кнопочными переключателями сектора “Осциллограф”. Следует иметь в виду, что выходы на осциллограф предназначены только для регистрации формы сигналов, и они не могут быть использованы для проведения измерений, поскольку выводимые сигналы промасштабированы для получения близких амплитудных значений с целью упрощения регистрации. Для правильной передачи форм сигналов, включая постоянную составляющую, **входы каналов осциллографа должны быть открытыми**. Условно это обозначается как вход по постоянному напряжению (DC или $\overline{\text{.....}}$)

2.3. Программа выполнения работы

Ознакомьтесь со схемой лабораторного макета и с размещением органов управления макетом. В связи с тем, что для связи осциллографа с компьютером используется интерфейс RS-232, который не допускает “горячего” подключения, **перед включением аппаратуры проверьте надежность соединения осцил-**

логграфа с компьютером через интерфейс RS-232. Подключение при включенном оборудовании может привести Com Port в негодность!

Сопоставьте принципиальную электрическую схему макета, показанную на рис. 2.1, со схемой, имеющейся на лицевой панели.

Включите лабораторный макет, осциллограф и компьютер. Установленная в компьютере программа **Free Capture** предназначена для обеспечения совместной работы осциллографа и компьютера с использованием интерфейса RS -232. Обычно программа запускается из директории **Program Files** на диске **C://**, либо с помощью иконки на рабочем столе. Прежде чем запустить эту программу, целесообразно создать временную директорию, в которой будут сохраняться результаты измерений. Методика работы с этой программой подробно описана в [3]. После запуска программы на мониторе появится окно с набором управляющих кнопок. При щелчке мыши на кнопке **I/O** на мониторе появится окно **I/O Setup** в котором необходимо установить параметры протокола обмена между осциллографом и компьютером: номер Com Port'a, к которому подключен осциллограф (1 или 2), скорость передачи данных Baud Rate→19200, число стоп-битов Stop Bit→1, биты данных Data Bit→8, контроль четности Parity→None.

После щелчка по клавише **OK** в случае, если протокол обмена компьютера соответствует параметрам интерфейса RS-232, установленным на осциллографе, в левой нижней части экрана монитора рядом с надписью **IDN?** появятся первые две буквы названия фирмы-изготовителя, тип осциллографа, его серийный номер и версия программы.

2.3.1. Исследование однотокового выпрямителя

1. Пользуясь кнопками управления схемой, установить переключатели *SA2* и *SA3* в положении 1 “Выкл”. При этом светодиоды, сигнализирующие включение диодов *VD2* и *VD3*, не будут светиться.

2. Пользуясь расположенными снизу от дисплея кнопками управления измеряемыми параметрами и видом их значений

(среднее квадратическое (действующее) значение, постоянная составляющая, амплитуда), установить в качестве измеряемой характеристики постоянную составляющую I_{H0} тока нагрузки.

3. Пользуясь кнопками управления нагрузкой, установить максимальное значение тока нагрузки I_{H0} .

4. При максимальном токе нагрузки с помощью программы Free Capture зарегистрировать осциллограммы токов и напряжений (i_1 , u_2 , i_2 , i_{VD1} , i_{VD3} , u_{VD1} , u_B , i_{C1} , u_H) при работе без фильтра, с емкостным фильтром, с индуктивным фильтром, с индуктивным фильтром и обратным диодом (в этом случае включить $SA3$), с Г-образным фильтром, с П-образным фильтром. Предварительную настройку цены делений осциллографа и частоты дискретизации можно осуществлять в режиме автоматического поиска путем нажатия кнопки **AUTO SET**. В случае необходимости цены делений можно скорректировать вручную. Для регистрации целесообразно использовать однократный запуск от сигнала u_2 путем нажатия кнопки **Run/Stop**. После того, как формы всех сигналов будут отображены на дисплее осциллографа, файл с этими формами и параметрами регистрации необходимо сохранить. Для захвата изображения может быть использована клавишу PrintScreen или программа **Hiper Snap-DX 5**. Файл может быть сохранен в формате .bmp или .jpg. Наряду с этим также нужно сохранить файл, полученный в программе **FreeCapture**. Хотя при сохранении изображения в программе **FreeCapture** метки, обозначающие нулевой уровень сигнала (потенциал земли), не отображаются, при этом сохранении формируются .txt-файлы, в которых содержится информация о всех параметрах регистрации.

При оформлении отчета по лабораторной работе, как правило, не нужно включать в него полные копии экрана монитора. К тому же всегда желательно убрать черный фон. Редактирование можно сделать, например, с помощью программ **Paint** или **Photoshop**. Методика редактирования с помощью программы **Photoshop** описана в [3].

5. Для каждого из указанных выше типов фильтров при максимальном токе нагрузки провести измерения действующих и амплитудных значений и постоянной составляющей характеристик, указанных в табл. 2.1. Результаты измерений можно заносить в эту таблицу, заранее заготовленную с помощью редактора **WORD**, вручную через буфер обмена или через адаптер для обеспечения ввода цифровой информации с макетов ЭПУ в компьютер с помощью программы **EPU**. Методика работы с программой **EPU** описана в [3].

6. Изменяя сопротивление нагрузки, снять нагрузочные характеристики выпрямителя, то есть зависимости постоянной составляющей напряжения на нагрузке от постоянной составляющей тока нагрузки $U_{н0} = f(I_{н0})$ при работе без фильтра, с индук-

Таблица 2.1. Результаты измерений основных характеристик

Тип фильтра	Ток первичной обмотки, $I_{1д}, I_{1а}, I_{10}$	Ток вторичной обмотки (ток диода), $I_{2д}, I_{2а}, I_{20}$	Напряжение на диоде, $U_{2д}, U_{2а}, U_{20}$	Выпрямленное напряжение	
				до фильтра, $U_{вд}, U_{ва}, U_{в0}$	после фильтра, $U_{нд}, U_{на}, U_{н0}$
Без фильтра					
Емкостной					
Индуктивный					
Индуктивный с обратным диодом					
Г-образный					

тивным фильтром (при наличии и отсутствии обратного диода), с емкостным, Г-образным и П-образным фильтрами. Результаты измерений удобно заносить с помощью программы **EPU** в заранее заготовленную с помощью редактора **WORD** табл. 2.2.

Таблица 2.2. Результаты измерений нагрузочных характеристик

U_{H0} , В								
I_{H0} , мА								

В отчете все нагрузочные характеристики нужно построить на одном графике в одном масштабе. Имеющееся в настоящее время программное обеспечение позволяет не только аппроксимировать экспериментальные точки полиномами различной степени и другими функциями, но также оценивать погрешности полученных коэффициентов и находить среднее квадратическое отклонение экспериментальных точек (стандартная дисперсия SD) от полученного уравнения. Очень удобно обработку экспериментальных данных проводить с помощью программы **ORIGIN**. Результаты можно переносить через буфер обмена компьютера. Методики построения графика экспериментальных точек и подбора аппроксимирующих зависимостей подробно описаны в [3].

2.3.2. Исследование двухтактного выпрямителя

Переключатели $SA2$ и $SA3$ установить в положение “Вкл”. Провести исследования по программе, аналогичной пп. 4, 5 и 6 предыдущего параграфа (без вариантов с обратным диодом).

2.3.3. Исследование сглаживающих фильтров

1. Для двухтактного выпрямителя путем измерений на осциллографе определить зависимости коэффициента пульсаций напряжения на нагрузке $k_p = (U_{на}/U_{H0})$ от постоянной составляющей тока в цепи нагрузки I_{H0} при работе с емкостным и индуктивным фильтрами.

2. При максимальном токе нагрузки для двухтактного выпрямителя определить коэффициент сглаживания $S = k_p(u_B)/k_p(u_H)$ индуктивного, Г-образного и П-образного фильтров.

Лабораторная работа № 3

УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

3.1. Цель работы

Изучение принципа действия и схемотехники управляемого выпрямителя (УВ), построенного по схеме со средней точкой. Экспериментальное исследование процессов, протекающих в УВ при резистивной нагрузке, а также влияния характера нагрузки на процессы, характеристики и параметры УВ.

3.2. Описание лабораторного макета

Функциональная схема лабораторного макета УВ приведена на рис. 3.1. В лабораторном макете УВ предусмотрены: возможность изменения характера нагрузки (резистивная или резистивно-индуктивная) переключателем $SA4$; возможность подключения замыкающего (обратного) диода $VD3$ (переключатель $SA3$) при резистивно-индуктивной нагрузке, возможность подключения вольтодобавки при резистивно-индуктивной нагрузке (переключатель $SA2$). Макет УВ, помимо исследуемого выпрямителя, содержит встроенный мультиметр для измерения силы тока i_1 первичной обмотки трансформатора $T1$, силы тока i_2 вторичной обмотки трансформатора, напряжения u_2 на вторичной обмотке трансформатора, выпрямленного напряжения u_{ϕ} до сглаживающего фильтра, напряжения u_n на нагрузке и силы тока i_n в цепи нагрузки R_n . Выбор измеряемой величины и измеряемого параметра (амплитуда, среднее квадратическое (действующее) значение, постоянная составляющая) осуществляется соответствующими кнопками, расположенными снизу от дисплея.

В макете предусмотрена возможность изменения угла регулирования (управления) α (сектор “Угол регулирования”), сопротивления нагрузки R_n выпрямителя (сектор “Нагрузка”), схемы выпрямителя и вида сглаживающего фильтра (сектор “Управление схемой”).

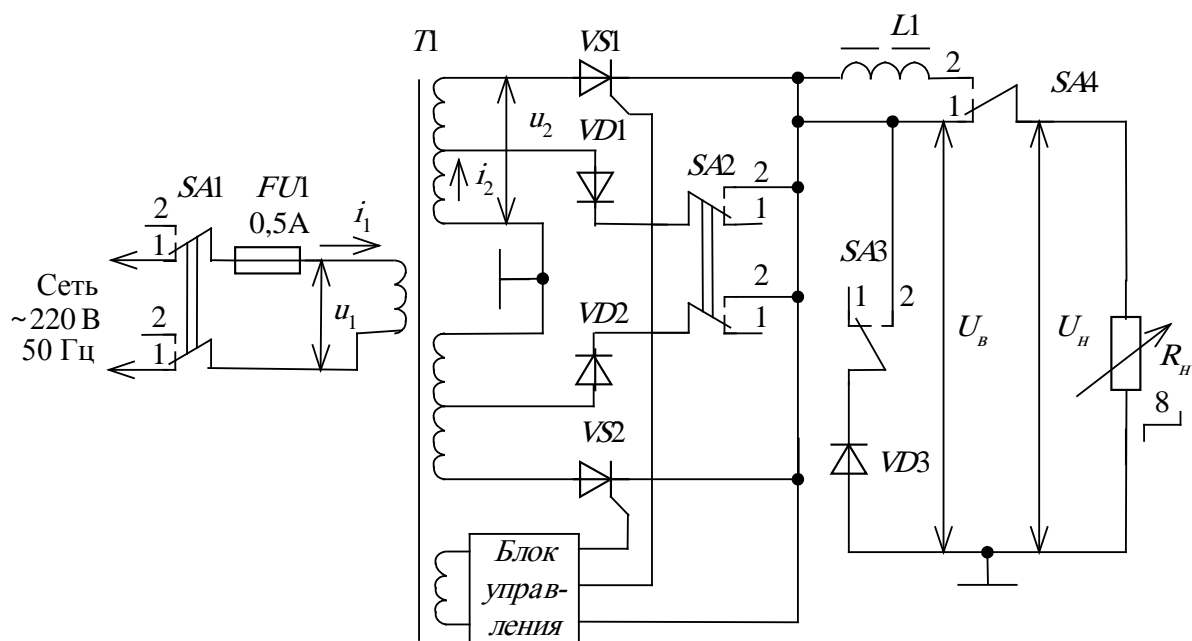


Рис. 3.1. Функциональная схема лабораторного макета для исследования управляемого выпрямителя

Наличие у макета двух выходов на внешний осциллограф позволяет одновременно наблюдать формы токов и напряжений в различных точках схемы: u_2 , i_{VS1} , i_{VD1} , i_{VD3} , $u_в$, $u_н$, i_1 и u_{VS1} . Для исследования взаимосвязи сигналов во времени рекомендуется на один из каналов двухлучевого осциллографа постоянно подавать опорный сигнал (например, напряжение на вторичной обмотке трансформатора u_2) и этим сигналом осуществлять запуск регистрации. Специфика работы осциллографа GDS-820C с программой Free Capture подробно изложена в [3]. Ей необходимо следовать.

3.3. Порядок выполнения работы

Ознакомьтесь со схемой лабораторного макета УВ и с размещением его органов управления. Проверьте все необходимые соединения. Включите лабораторный макет, компьютер и осциллограф. Сопоставьте функциональную схему макета, показанную на рис. 3.1, со схемой, имеющейся на макете.

3.3.1. Исследование управляемого выпрямителя с резистивной нагрузкой

1.1. При номинальной нагрузке R_n (минимальное сопротивление нагрузки) снять регулировочные характеристики выпрямителя, то есть зависимости постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_n , среднего квадратического (действующего) значения тока первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток трансформатора, амплитуды напряжения пульсаций U_{Π} от значения угла регулирования α в пределах от $\alpha = 5^\circ$ до $\alpha = 180^\circ$. Результаты измерений удобно заносить с помощью программы **EPU** в заранее заготовленные с помощью редактора **WORD** таблицы.

Вычислите коэффициент пульсации $k_{\text{пульс}}$ выпрямленного напряжения $k_{\Pi} = U_{\Pi}/U_n$. Постройте графики полученных регулировочных характеристик: $U_n = f(\alpha)$, $I_1 = f(\alpha)$, $I_2 = f(\alpha)$, $k_{\Pi} = f(\alpha)$.

1.2. При номинальной нагрузке с помощью программы Free Capture зарегистрировать формы сигналов u_2 , i_{VS1} , u_B , u_n , i_1 , u_{VS1} при углах регулирования $\alpha = 5^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$.

1.3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять нагрузочные характеристики $U_n = f(I_n)$ управляемого выпрямителя при углах регулирования $\alpha = 5^\circ$, $\alpha = 90^\circ$. Результаты измерений, выполняемых в этом пункте, также удобно заносить с помощью программы **EPU** в заранее заготовленные с помощью редактора **WORD** таблицы.

3.3.2. Исследование управляемого выпрямителя с резистивно-индуктивной нагрузкой

2.1. Снять регулировочные характеристики выпрямителя по программе, описанной в п. 1.1. При выполнении эксперимента следует контролировать по осциллографу ток i_{VS1} и определить угол регулирования, при котором ток в нагрузке перестает быть непрерывным.

2.2. При номинальной нагрузке зарегистрировать формы сигналов u_2 , i_{VS1} , u_B , u_H , i_1 , u_{VS1} при углах регулирования $\alpha = 5^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$.

2.3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять нагрузочные характеристики $U_H = f(I_H)$ управляемого выпрямителя при углах регулирования $\alpha = 5^\circ$, $\alpha = 60^\circ$.

3.3.3. Исследование управляемого выпрямителя при резистивно-индуктивной нагрузке с обратным диодом

3.1. Снять регулировочные характеристики выпрямителя по программе, описанной в п. 1.1.

3.2. При номинальной нагрузке зарегистрировать формы сигналов u_2 , i_{VS1} , i_{VD3} , u_B , u_H , i_1 , u_{VS1} при углах регулирования $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 130^\circ$.

3.3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять нагрузочные характеристики $U_H = f(I_H)$ управляемого выпрямителя при углах регулирования $\alpha = \alpha_{\min}$, $\alpha = 90^\circ$.

3.3.4. Исследование управляемого выпрямителя с вольтодобавкой при резистивно-индуктивной нагрузке

4.1. Снять регулировочные характеристики выпрямителя по программе, описанной в п. 1.1.

4.2. При номинальной нагрузке зарегистрировать формы сигналов u_2 , i_{VS1} , i_{VD1} , u_B , u_H , i_1 , u_{VS1} при углах регулирования $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$.

4.3. Изменяя сопротивление нагрузки, снять нагрузочные характеристики $U_H = f(I_H)$ управляемого выпрямителя при углах регулирования $\alpha = 5^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$.

Лабораторная работа № 4

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

4.1. Цель работы

Изучение принципа действия компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием, а также исследование его основных характеристик и параметров.

4.2. Описание лабораторного макета

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

Принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием приведена на рис. 4.1. 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 $SA1$ в положении 1) или нелинейный двухполюсник с большим динамическим сопротивлением (генератор стабильного тока) на транзисторе $VT1$ ($SA1$ в положении 2).

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

В лабораторном макете предусмотрена возможность построения стабилизатора и без УПТ. В этом случае переключателем $SA2$ база транзистора $VT4$ подключается не к коллекторной цепи транзистора $VT3$, а к стабилитрону $VD4$.

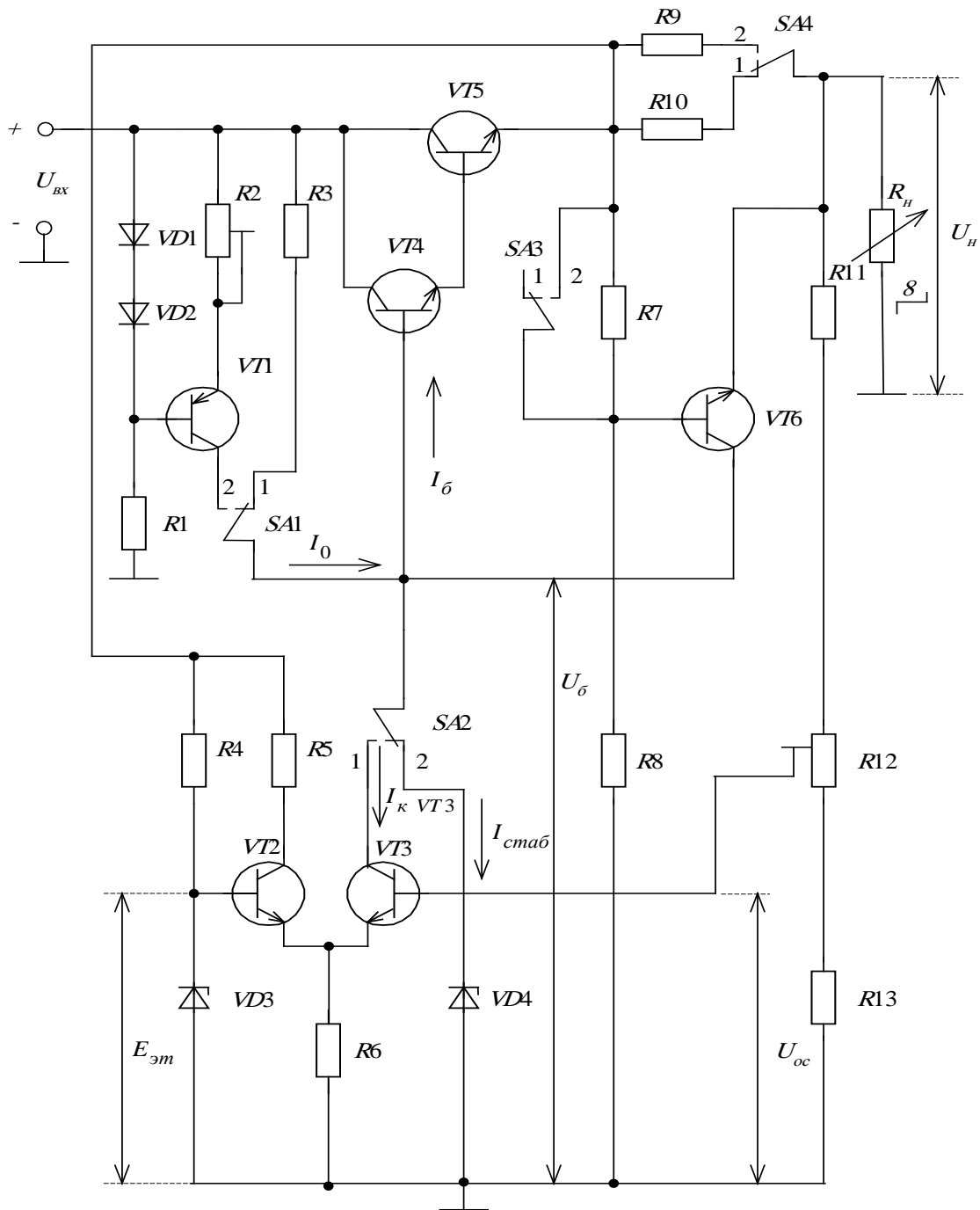


Рис. 4.1. Принципиальная электрическая схема лабораторного макета для исследования компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием

При этом резистор $R3$ или генератор стабильного тока на транзисторе $VT1$ (в зависимости от положения переключателя $SA1$) выполняют функции гасящего резистора параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне $VD4$.

В линейном стабилизаторе установлена защита от перегрузки по току. Последовательно с нагрузкой R_n включен резистор $R9$ или $R10$ (в зависимости от положения переключателя $SA4$), который выполняет функции датчика тока нагрузки I_n . Когда ток нагрузки создает на резисторе $R9$ или $R10$ ($R_9 = 2,4 \text{ Ом}$, $R_{10} = 3,3 \text{ Ом}$) падение напряжения, превышающее напряжение отпирания транзистора $VT6$ (при замкнутом положении переключателя $SA3$ – кнопка $SA3$ **не подсвечивается**), транзистор $VT6$ открывается.

Увеличение коллекторного тока транзистора $VT6$ приводит к уменьшению тока базы транзистора $VT4$ и к увеличению сопротивления регулирующего транзистора $VT5$. А это означает возрастание падения напряжения $U_{кэ}$ 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 $SA3$ (кнопка $SA3$ **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 токостабили-

зирующего двухполюсника и коэффициент передачи в цепи обратной связи рассматриваемого стабилизатора напряжения.

Наименования измеряемых мультиметром величин и их значения выводятся на жидкокристаллический дисплей, расположенный в правом верхнем углу передней панели. Под дисплеем расположены кнопки управления выводимой информацией. Для удобства работы в первой строке дисплея при установке номера пункта программы работы (по данным методическим указаниям) выводится значение параметра, измеряемого в данном пункте работы. Ниже зоны управления дисплеем расположена зона индикации режима работы стабилизатора.

4.3. Программа выполнения работы

Проверьте наличие соединения макета с компьютером через интерфейс RS-232. Ознакомьтесь с расположением органов управления лабораторного макета и включите его. Включите компьютер. Сопоставьте принципиальную электрическую схему, показанную на рис. 4.1, со схемой, имеющейся на макете. Номинальное значение входного напряжения $U_{вх}$ равно 10...12 В.

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

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – 1, SA2 – 2, SA3 – 2 (“Вкл”) (**кнопка не подсвечена**), SA4 – 2, $E_{эт}$ – 1.

1.1. С помощью встроенного мультиметра и программы ЕРУ снять зависимости напряжения U_n на нагрузке R_n и напряжения U_{δ} на стабилитроне VD4, силы тока базы I_{δ} регулирующего транзистора VT4, VT5, силы тока I_0 гасящего резистора R3 и силы тока $I_{стаб}$ стабилитрона VD4 $I_{стаб} = I_0 - I_{\delta}$ от напряжения $U_{вх}$ на входе стабилизатора: $U_n = f(U_{вх})$, $U_{\delta} = f(U_{вх})$, $I_{\delta} = f(U_{вх})$, $I_0 = f(U_{вх})$ и $I_{стаб} = f(U_{вх})$. Входное напряжение $U_{вх}$ изменять в диапазоне 9...16 В. Результаты измерений,

выполняемых в этом пункте, также удобно заносить с помощью программы **EPU** в заранее заготовленные с помощью редактора **WORD** таблицы.

Построить графики полученных экспериментальных данных. Вычислить сопротивление R_3 гасящего резистора $R3$: $R_3 = (U_{\text{вх}} - U_{\text{б}}) / I_0$. Сопротивление нагрузки R_n в процессе эксперимента поддерживать неизменным (положение 6 или 7).

По графикам определить диапазон изменения входного напряжения $U_{\text{вх}}$ стабилизатора, в пределах которого наблюдается эффект стабилизации напряжений $U_{\text{б}}$ и U_n .

По полученным в эксперименте данным для линейного стабилизатора и параметрического стабилизатора напряжения $R3 VD4$ рассчитать коэффициент стабилизации K_u выходного напряжения по входному.

1.2. Для выполнения этого пункта установить входное напряжение $U_{\text{вх}}$ в диапазоне 10...12 В.

Снять зависимости напряжений U_n , $U_{\text{б}}$ и токов $I_{\text{б}}$, I_0 и $I_{\text{стаб}}$ от тока нагрузки I_n , изменяемого переключением сопротивления нагрузки R_n . Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ стабилизатора при этом не изменять.

Построить графики полученных экспериментальных данных: $U_n = f(I_n)$, $U_{\text{б}} = f(I_n)$, $I_{\text{б}} = f(I_n)$, $I_0 = f(I_n)$ и $I_{\text{стаб}} = f(I_n)$. По данным эксперимента вычислить внутреннее сопротивление R_i линейного стабилизатора и параметрического стабилизатора напряжения $R3 VD4$.

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

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – 2, SA2 – 2, SA3 – 2 (“Вкл”) (кнопка не подсвечена), SA4 – 2, $E_{\text{эт}}$ – 1.

Потенциометром $R2$ установить ток I_0 близким к значению, полученному в п.1.2 при номинальном токе нагрузки (положение

6 переключателя R_n). В случае, если это невозможно выполнить, то установить минимальное значение I_0 .

Повторить исследования, описанные в пп.1.1 и 1.2 предыдущего параграфа.

По данным экспериментов построить вольтамперную характеристику нелинейного токостабилизирующего двухполюсника: $I_0 = f(U_{ex} - U_{\bar{o}})$. Вычислить динамическое (внутреннее) сопротивление $R_{\bar{o}}$ нелинейного двухполюсника.

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

Переключатели установить в следующие положения: $SA1 - 1$, $SA2 - 1$, $SA3 - 2$ (“Вкл”) (кнопка не подсвечена), $SA4 - 2$, $E_{\text{эт}} - 2$.

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

3.1. Снять зависимости напряжения U_n на нагрузке R_n , силы тока базы $I_{\bar{o}}$ регулирующего транзистора $VT4, VT5$, силы тока I_0 гасящего резистора $R3$ и силы коллекторного тока I_{kVT3} транзистора $VT3$ $I_{kVT3} = I_0 - I_{\bar{o}}$ от напряжения U_{ex} на входе стабилизатора: $U_n = f(U_{ex})$, $I_{\bar{o}} = f(U_{ex})$, $I_0 = f(U_{ex})$ и $I_{kVT3} = f(U_{ex})$. Входное напряжение U_{ex} изменять в диапазоне 9...16 В. Сопротивление нагрузки R_n в процессе эксперимента поддерживать постоянным (положение 5 или 6).

Построить графики полученных экспериментальных данных: $U_n = f(U_{ex})$, $I_{\bar{o}} = f(U_{ex})$, $I_0 = f(U_{ex})$ и $I_{kVT3} = f(U_{ex})$, а также зависимость КПД η от напряжения U_{ex} , то есть $\eta = f(U_{ex})$ и результаты их аппроксимации. При вычислении КПД считать входной ток стабилизатора равным выходному.

По полученным в эксперименте данным рассчитать коэффициент стабилизации K_u выходного напряжения по входному.

3.2. Для выполнения п.3.2 установить входное напряжение $U_{\text{вх}}$ в диапазоне 10...12 В.

Снять зависимости выходного напряжения U_n и токов $I_{\text{б}}$, I_0 и $I_{\text{к VT3}}$ от тока нагрузки I_n , изменяемого переключением сопротивления нагрузки R_n . Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ стабилизатора при этом не изменять и поддерживать постоянным в диапазоне 10...12 В.

Построить графики полученных экспериментальных данных: $U_n = f(I_n)$, $U_{\text{б}} = f(I_n)$, $I_{\text{б}} = f(I_n)$, $I_0 = f(I_n)$ и $I_{\text{к VT3}} = f(I_n)$, а также зависимость КПД η от тока нагрузки I_n , то есть $\eta = f(I_n)$ и результаты их аппроксимации.

По данным эксперимента вычислить внутреннее сопротивление R_i линейного стабилизатора напряжения.

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: SA1 – 2, SA2 – 1, SA3 – 2 (“Вкл”) (кнопка не подсвечена), SA4 – 2, $E_{\text{эм}}$ – 2.

Потенциометром R2 установить ток I_0 близким к значению, полученному в п.3.2 при номинальном токе нагрузки (положение 6 переключателя R_n). Если это невозможно выполнить, то установить минимальное значение тока I_0 .

Повторить эксперимент, описанный в пп. 3.1 и 3.2.

4.3.5. Исследование схемы защиты стабилизатора

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – произвольное, SA2 – 1, $E_{\text{эм}}$ – 2.

С помощью потенциометра R12 получить максимальное значение выходного напряжения U_n . Снять нагрузочные харак-

теристики стабилизатора и построить графики для следующих вариантов схемы защиты:

- высокое сопротивление датчика тока (резистор R_{10}) и отсутствие связи по напряжению (переключатели $SA3 - 2$ (“Вкл”) (**кнопка не подсвечена**), $SA4$ в положении 1);
- низкое сопротивление датчика тока (резистор R_9) и отсутствие связи по напряжению (переключатели $SA3 - 2$ (“Вкл”) (**кнопка не подсвечена**), $SA4$ в положении 2);
- низкое сопротивление датчика тока (резистор R_9) и наличие связи по напряжению (переключатели $SA3 - 1$ (“Выкл”) (**кнопка подсвечена**), $SA4$ в положении 2).

Лабораторная работа № 5

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

5.1. Цель работы

Изучение принципа действия и основных характеристик преобразователей и стабилизаторов напряжения постоянного тока с импульсным регулированием.

5.2. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет состоит из комплексного устройства, реализующего преобразователи и стабилизаторы напряжения постоянного тока с импульсным регулированием, универсального мультиметра и встроенного блока электропитания.

Функциональная схема макета приведена на рис. 5.1. В работе исследуются две схемы преобразователей (переключатель $SA3$ установлен в положение "1") с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и импульсных стабилизаторов (переключатель $SA3$ установлен в положение "2") на их основе. При установке переключателя $SA2$ в положение "1" реализуются преобразователь и стабилизатор напряжения понижающего типа, а при установке переключателя $SA2$ в положение "2" реализуются преобразователь и стабилизатор полярно-инвертирующего типа. Положение

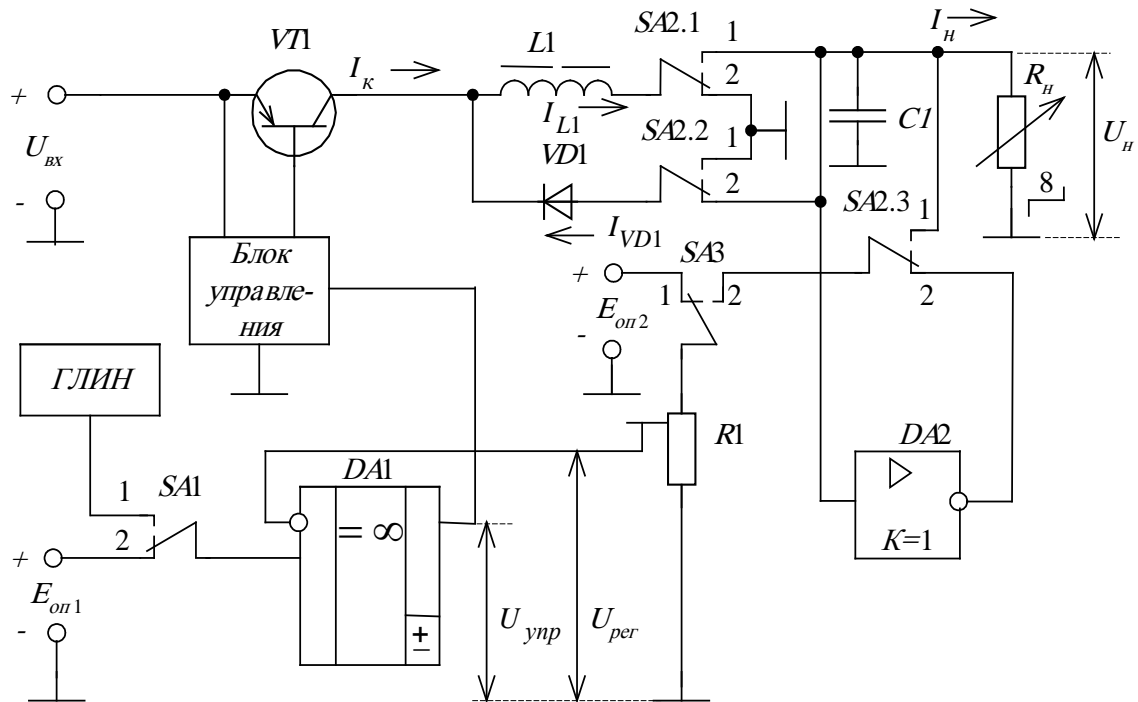


Рис. 5.1. Функциональная схема лабораторного макета для исследования компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с импульсным регулированием

рабочей точки на коллекторной характеристике регулирующего транзистора $VT1$ определяется блоком управления, входной сигнал которого формируется компаратором $DA1$. При ШИМ на прямой (неинвертирующий) вход компаратора $DA1$ поступает сигнал от генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН). Режим ШИМ осуществляется установкой переключателя $SA1$ в положение "1". Наряду с преобразователями и стабилизаторами, работающими с широтно-импульсной модуляцией, в макете также может быть реализован режим двухпозиционной (релейной) модуляции. В этом случае переключатель $SA1$ устанавливается в положение "2" и на прямой (неинвертирующий) вход компаратора $DA1$ поступает сигнал от источника опорного (эталонного) напряжения E_{on1} .

На инвертирующий вход компаратора $DA1$ через потенциометр $R1$ поступает напряжение или с выхода устройства (переключатель $SA3$ в положении "2"), обеспечивая режим стабилизации, или от источника опорного напряжения E_{on2} (переключа-

тель SA3 в положении "1") в режиме регулирования выходного напряжения преобразователя. Частота сигнала на выходе ГЛИН может изменяться в диапазоне 1...20 кГц.

В макете предусмотрена возможность подключения двухлучевого осциллографа для просмотра временных диаграмм управляющего напряжения (выходного напряжения компаратора) $U_{упр}$, коллекторного тока I_k регулирующего транзистора VT1, тока I_{L1} дросселя L1, тока I_{VD1} замыкающего диода VD1 и падения напряжения на дросселе L1, замыкающем диоде VD1, на участке коллектор-эмиттер транзистора VT1 и на выходе $U_{вых}$ устройства.

Наименования измеряемых мультиметром величин и их значения выводятся на жидкокристаллический дисплей, расположенный в правом верхнем углу передней панели макета. Под дисплеем расположены кнопки управления выводимой информацией. Для удобства работы в первую строку дисплея необходимо устанавливать выполняемый номера пункта программы работы по данному руководству (кнопка "№ пункта"). На дисплей во вторую строку выводятся величины параметров, измеряемых в данном пункте работы. В качестве измеренных величин выводятся постоянные составляющие (средние значения) регулирующего напряжения $U_{рег}$, входного напряжения $U_{вх}$, напряжения на нагрузке U_n , тока в нагрузке I_n и коллекторного тока I_k регулирующего транзистора.

5.3. Программа выполнения работы

Ознакомьтесь с расположением органов управления макетом. Сопоставьте функциональную схему макета, показанную на рис. 5.1, со схемой, имеющейся на макете. Проверьте надежность соединения макета и компьютера. Включите макет и компьютер.

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

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – 1, SA2 – 1, SA3 – 1. Частоту f переключения ГЛИН установить равной 10 кГц, а входное напряжение $U_{вх} = 12...15$ В.

1.1. Установить потенциометр $R1$ в среднее положение, а сопротивление нагрузки R_n в положение 6...8. С помощью осциллографа и программы Free Capture зарегистрировать временные диаграммы, характеризующие работу преобразователя. Запуск осциллографа целесообразно осуществлять по нарастающему фронту импульсов управляющего напряжения $u_{упр}$. Эти же импульсы следует использовать для измерения на осциллографе длительности τ (+длит), периода T и скважности $\gamma=\tau/T$.

Измерить входное напряжение $U_{вх}$, напряжение на нагрузке U_n , постоянную составляющую коллекторного тока I_k и ток в цепи нагрузки I_n .

Вычислить коэффициент полезного действия преобразователя.

1.2. Устанавливая потенциометром $R1$ величину скважности γ в пределах от 0,4 до 0,7, снять регулировочные характеристики преобразователя, то есть зависимости напряжения U_n на нагрузке, длительности τ импульсов коллекторного тока, относительной длительности $\gamma = \tau/T$ и постоянной составляющей коллекторного тока I_k от регулирующего напряжения $U_{рег}$: $U_n = f(U_{рег})$, $\tau = f(U_{рег})$, $\gamma = f(U_{рег})$, $I_k = f(U_{рег})$ при постоянном сопротивлении нагрузки R_n (положение 6...8).

1.3. Снять нагрузочные характеристики преобразователя: $U_n = f(I_n)$, $\tau = f(I_n)$, $\gamma = f(I_n)$, $I_k = f(I_n)$ при изменении сопротивления нагрузки R_n . Потенциометром $R1$ установить относительную длительность импульсов коллекторного тока γ в пределах от 0,3 до 0,8. Определить внутреннее сопротивление R_i преобразователя.

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

Установить переключатели в следующие положения: $SA1 - 1$, $SA2 - 2$, $SA3 - 1$. Частоту f переключения ГЛИН установить равной 10 кГц, а входное напряжение $U_{вх} = 13...15$ В.

2.1. Установить сопротивление нагрузки R_n в положение 3...8 и с помощью потенциометра $R1$ установить относительную длительность импульсов коллекторного тока γ (скважность) такими, чтобы постоянная составляющая коллекторного тока не превышала 350 мА. С помощью осциллографа и программы Free Capture зарегистрировать временные диаграммы, характеризующие работу преобразователя. Запуск осциллографа целесообразно осуществлять по нарастающему фронту импульсов управляющего напряжения $u_{упр}$.

Измерить входное напряжение $U_{вх}$, напряжение на нагрузке U_n , постоянную составляющую коллекторного тока I_k и ток в цепи нагрузки I_n .

Вычислить коэффициент полезного действия преобразователя.

2.2. Снять регулировочные характеристики преобразователя: $U_n = f(U_{рег})$, $\tau = f(U_{рег})$, $\gamma = f(U_{рег})$, $I_{к VT1} = f(U_{рег})$ при постоянном сопротивлении нагрузки R_n (положение 2) и минимальном входном напряжении $U_{вх}$.

2.3. Установить максимальное сопротивление нагрузки (положение 1) и относительную длительность импульсов коллекторного тока γ в пределах от 0,3 до 0,5. Снять нагрузочные характеристики преобразователя: $U_n = f(I_n)$, $\tau = f(I_n)$, $\gamma = f(I_n)$, $I_{к VT1} = f(I_n)$ при изменении сопротивления нагрузки R_n .

Определить внутреннее сопротивление R_i преобразователя.

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*

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – 1, SA2 – 1, SA3 – 2. Частоту f переключения ГЛИН установить 10 кГц, а потенциометр $R1$ – в среднее положение.

3.1. При постоянном сопротивлении нагрузки (R_n в положении 6...8) снять зависимости напряжения на нагрузке U_n , дли-

тельности импульсов коллекторного тока τ и их относительной длительности $\gamma = \tau/T$ от входного напряжения $U_{\text{вх}}$: $U_{\text{н}} = f(U_{\text{вх}})$, $\tau = f(U_{\text{вх}})$ и $\gamma = f(U_{\text{вх}})$.

Определить коэффициент стабилизации K_u выходного напряжения по входному при минимальном, среднем и максимальном значениях входного напряжения.

3.2. Снять нагрузочные характеристики стабилизатора: $U_{\text{н}} = f(I_{\text{н}})$, $\tau = f(I_{\text{н}})$ и $\gamma = f(I_{\text{н}})$ при $R_{\text{н}} = \text{var}$ и $U_{\text{вх}} = 13 \dots 15 \text{ В}$.

Определить внутреннее сопротивление R_i исследуемого компенсационного стабилизатора напряжения.

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*

Переключатели установить в следующие положения: SA1 – 1, SA2 – 2, SA3 – 2. Частоту f переключения ГЛИН установить 10 кГц, а потенциометр $R1$ – в среднее положение

4.1. При постоянном сопротивлении нагрузки ($R_{\text{н}}$ в положении 6...8) снять зависимости напряжения на нагрузке $U_{\text{н}}$, длительности τ импульсов коллекторного тока и их относительной длительности γ от входного напряжения $U_{\text{вх}}$: $U_{\text{н}} = f(U_{\text{вх}})$, $\tau = f(U_{\text{вх}})$ и $\gamma = f(U_{\text{вх}})$.

Определить коэффициент стабилизации K_u выходного напряжения по входному при минимальном, среднем и максимальном значениях входного напряжения.

4.2. Снять нагрузочные характеристики стабилизатора: $U_{\text{н}} = f(I_{\text{н}})$, $\tau = f(I_{\text{н}})$ и $\gamma = f(I_{\text{н}})$ при $R_{\text{н}} = \text{var}$ и $U_{\text{вх}} = 13 \dots 15 \text{ В}$.

Определить внутреннее сопротивление R_i исследуемого компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с

импульсным регулированием, силовая часть которого построена по схеме полярно-инвертирующего типа, а регулирующий транзистор работает в режиме ШИМ.

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*

Переключатели установить в следующие положения: $SA1 - 2$, $SA2 - 1$, $SA3 - 2$, а потенциометр $R1$ – в среднее положение.

5.1. При постоянном сопротивлении нагрузки (R_n в положении 6...8) с помощью осциллографа и программы Free Capture зарегистрировать временные диаграммы, характеризующие работу стабилизатора. Запуск осциллографа целесообразно осуществлять по нарастающему фронту импульсов управляющего напряжения $u_{упр}$. Эти же импульсы следует использовать для измерения на осциллографе длительности τ (+длит), периода T и скважности $\gamma = \tau/T$.

5.2. Снять зависимости напряжения на нагрузке U_n , длительности τ импульсов коллекторного тока и их относительной длительности γ от входного напряжения U_{ex} : $U_n = f(U_{ex})$, $\tau = f(U_{ex})$ и $\gamma = f(U_{ex})$.

Определить коэффициент стабилизации K_u выходного напряжения по входному при минимальном, среднем и максимальном значениях входного напряжения.

5.3. Снять нагрузочные характеристики стабилизатора: $U_n = f(I_n)$, $\tau = f(I_n)$ и $\gamma = f(I_n)$ при $R_n = \text{var}$ и $U_{ex} = 13...15 \text{ В}$.

Определить внутреннее сопротивление R_i исследуемого компенсационного стабилизатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрофанов А.В., Полевой В.В., Сафин В.Г., Соловьев А.А., Щапов Б.Г. Электропреобразовательные устройства. - СПб.: Издательство СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2002. – 76 с.
2. Битюков В.К., Богатов А.В., Михневич Н.Г., Петров В.А. Исследование характеристик стабилизированных источников вторичного электропитания, построенных на базе регулируемых DC-DC преобразователей с накачкой заряда // Научные технологии. 2012. Т. 13. № 5. - С. 5-15.
3. Битюков В.К., Петров В.А. Цифровые системы сбора и обработки данных при экспериментальном исследовании источников вторичного электропитания. Часть II – М.: МИРЭА, 2009. – 170 с.
4. Битюков В.К., Иванов А.А., Михневич Н.Г., Перфильев В.С., Петров В.А. Виртуальная лицевая панель реального стенда для дистанционного управления исследованием характеристик источников вторичного электропитания // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 1. С. 52-57
5. Битюков В.К., Власюк Ю.А., Петров В.А., Федоров Е.И. Лабораторный практикум по дисциплине “Физические основы преобразовательной техники”. – М.: МИРЭА, 2004. – 140 с.
6. Битюков В.К., Власюк Ю.А., Нефедов В.И. Физические основы преобразовательной техники. Часть 1. – М.: МИРЭА, 2005. – 148 с.
7. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
8. Битюков В.К., Петров В.А. Стабилизированные источники вторичного электропитания, построенные на базе регулируемых DC-DC преобразователей с накачкой заряда. Методические указания № 1287 по выполнению лабораторной работы. – М.: МГТУ МИРЭА, 2014. – 20 с.
9. Buck/Boost Regulating Charge Pump in μ MAX, MAX1759, Data Sheet 19-1600. – Maxim Integrated Products, 2000. - 10 pp.

10. Low Noise, Positive-Regulated Charge Pump MCP1252/3, Data Sheet DS21752A. – Microchip Technology, 2002 - 18 pp.
11. Битюков В.К., Петров В.А. Цифровые системы сбора и обработки данных при экспериментальном исследовании источников вторичного электропитания. Часть I. – М.: МИРЭА, 2008. – 208 с.

Учебное издание

**Битюков Владимир Ксенофонович,
Петров Вадим Александрович**

**ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ УСТРОЙСТВ
И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать . . . 2014. Формат 60×84 1/16.
Физ. печ. л. 2,25. Тираж 100 экз. Изд. № 3. Заказ №

ФГБОУ ВПО «МГТУРЭА (МИРЭА)»
119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78