

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ТЕХНИКУМ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА ВОСКРЕСЕНСКОГО»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

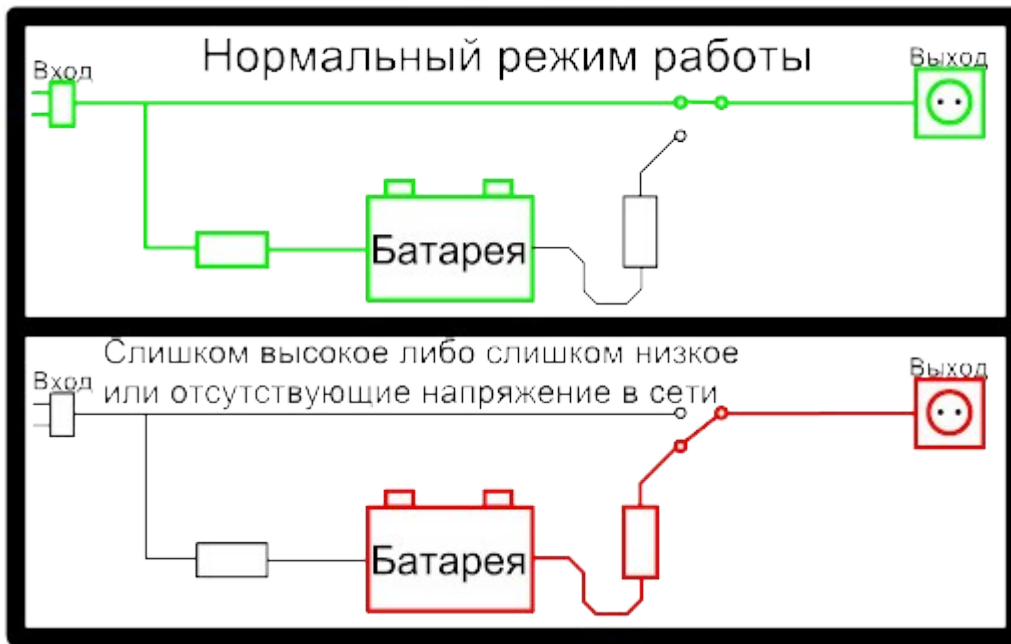
Дисциплина ОП.08 Энергоснабжение телекоммуникационных систем
программы подготовки специалистов среднего звена
специальность 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи
квалификации выпускника – специалист по монтажу и обслуживанию
телекоммуникаций
Форма обучения - очная

2024 г.

Лабораторная работа № 1

Тема: Изучение аккумуляторов

Источники Бесперебойного Питания (ИБП) играют ключевую роль в обеспечении надежного электроснабжения, защищая оборудование от перебоев в подаче электроэнергии и временных отключений. Они критически важны для поддержания работы как домашних, так и коммерческих систем, обеспечивая защиту и бесперебойную работу электронных устройств. Независимо от того, используется ли ИБП в домашних условиях, офисах или серверных комнатах, правильный расчет мощности и времени работы ИБП является ключевым фактором для обеспечения стабильной работы подключенных устройств.



ИБП (Источник Бесперебойного Питания) – это устройство, обеспечивающее временное питание подключенных устройств при перебоях или отключении электроэнергии. Основные функции ИБП:

- Обеспечение временного питания: Позволяет устройствам продолжать работу или корректно завершить её при отключении электроэнергии.
- Защита от перебоев: Защищает оборудование от кратковременных перебоев, скачков и провалов напряжения.
- Стабилизация напряжения: Предотвращает повреждения, вызванные перенапряжениями.
- Защита от короткого замыкания: Предотвращает повреждения оборудования и сети.
- Фильтрация помех: Обеспечивает чистое и стабильное питание.

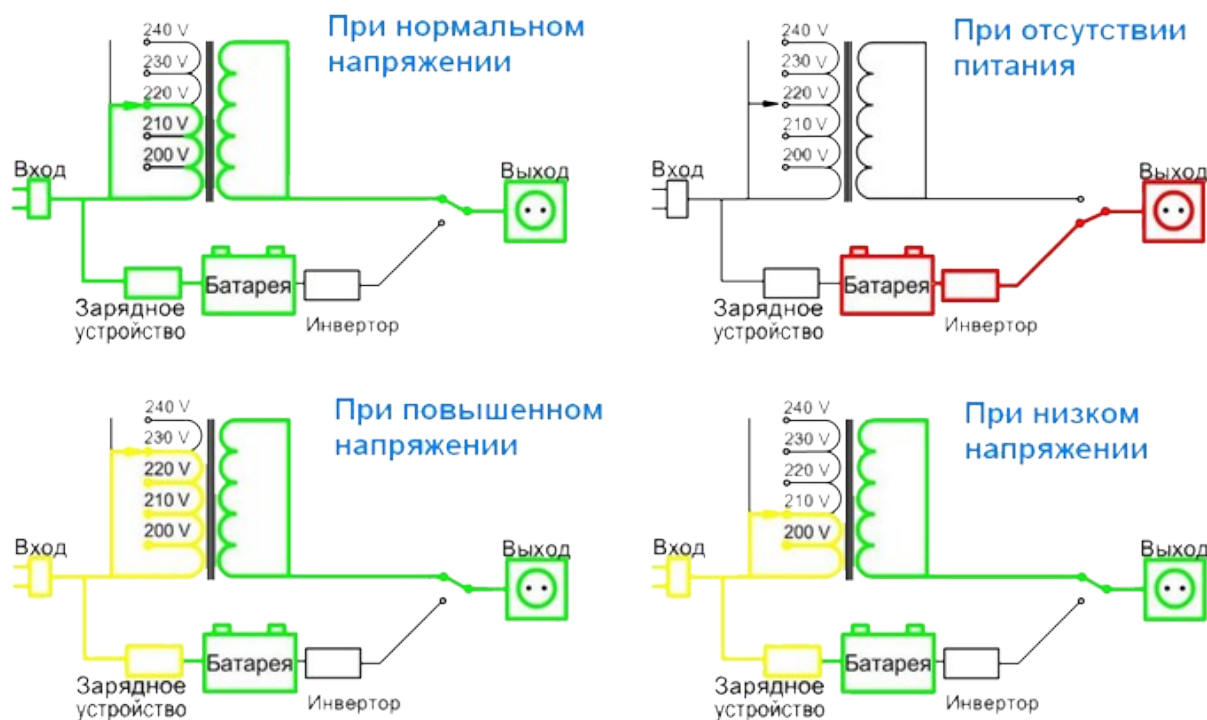
Основные области применения ИБП:

- Домашние условия: Защита компьютеров, домашних серверов и систем видеонаблюдения.
- Офисное оборудование: Защита компьютеров, сетевого оборудования и телефонов.
- Серверные и дата-центры: Защита серверов и систем хранения данных.
- Медицинское оборудование: Обеспечение непрерывной работы жизненно важных систем.
- Промышленные системы: Защита производственного оборудования и систем управления.

ИБП является важным компонентом для обеспечения надежного электроснабжения и защиты оборудования в различных сферах.

Расчет мощности ИБП

Правильный расчет мощности ИБП является ключевым шагом для обеспечения надежного электроснабжения подключенных устройств. Рассмотрим, как определить необходимую мощность ИБП.



Шаг 1: Определение суммарной мощности подключаемых устройств

Описание: Суммарная мощность всех устройств, которые будут подключены к ИБП.

Как рассчитать: Сложите мощности всех устройств (указаны в ваттах на их этикетках или в технической документации).

Пример:

Компьютер: 300 Вт

Монитор: 50 Вт

Маршрутизатор: 20 Вт

Итого: 370 Вт

Шаг 2: Учет пусковых токов и коэффициента мощности

Пусковые токи: Некоторые устройства, такие как принтеры или кондиционеры, потребляют больше энергии при запуске. Учитывайте эти пики при расчете.

Коэффициент мощности (PF): Умножьте суммарную мощность на коэффициент мощности (обычно 0.7 или 0.8) для корректировки расчетов.

Формула: Необходимая мощность ИБП = Суммарная мощность / Коэффициент мощности

Пример:

Суммарная мощность: 370 Вт

Коэффициент мощности: 0.8

Необходимая мощность ИБП: $370 \text{ Вт} / 0.8 \approx 462.5 \text{ Вт}$

Шаг 3: Примеры расчетов для различных типов оборудования

Пример 1: Домашний офис

Компьютер: 300 Вт

Монитор: 50 Вт

Принтер: 30 Вт (учитывая пусковой ток 60 Вт)

Маршрутизатор: 20 Вт

Суммарная мощность: $300 + 50 + 60 + 20 = 430$ Вт

Необходимая мощность ИБП: $430/0.8 \approx 537.5$ Вт

Пример 2: Серверная комната

Сервер: 500 Вт

Коммутатор: 100 Вт

Система охлаждения: 200 Вт (учитывая пусковой ток 400 Вт)

Суммарная мощность: $500 + 100 + 400 = 1000$ Вт

Необходимая мощность ИБП: $1000/0.8 = 1250$ Вт

Правильный расчет мощности ИБП включает определение суммарной мощности подключаемых устройств, учет пусковых токов и корректировку на коэффициент мощности. Это обеспечивает выбор ИБП, способного надежно поддерживать работу всех устройств в случае перебоев с электроэнергией.

Расчет времени работы ИБП

После определения необходимой мощности ИБП важно рассчитать, как долго он сможет поддерживать работу подключенных устройств при отключении электроэнергии. Рассмотрим шаги для расчета времени работы ИБП.

Шаг 1: Определение емкости аккумулятора

Описание: Емкость аккумулятора измеряется в ампер-часах (Ач) и указывает, сколько энергии может храниться в аккумуляторе.

Формула для перевода емкости в ватт-часы (Wh): $\text{Емкость (Wh)} = \text{Емкость (Ач)} \times \text{Напряжение (V)}$

Пример:

- Емкость аккумулятора: 100 Ач
- Напряжение аккумулятора: 12 В
- Емкость в ватт-часах: $100 \text{ Ач} \times 12 \text{ В} = 1200 \text{ Wh}$

Шаг 2: Определение нагрузки на ИБП

Описание: Суммарная мощность всех подключенных устройств в ваттах (Вт).

Пример:

Суммарная мощность подключенных устройств: 400 Вт

Шаг 3: Расчет времени работы ИБП

Формула: $\text{Время работы (часы)} = \text{Емкость аккумулятора (Wh)} / \text{Мощность нагрузки (Вт)}$

Пример:

- Емкость аккумулятора: 1200 Wh
- Мощность нагрузки: 400 Вт
- Время работы: $1200 \text{ Wh} / 400 \text{ Вт} = 3$ часа

Шаг 4: Учет коэффициента разряда

Описание: В реальных условиях полезная емкость аккумулятора может быть немного ниже номинальной из-за различных факторов, таких как эффективность ИБП и саморазряд аккумуляторов.

Корректировка: Умножьте результат на коэффициент разряда (обычно 0.85–0.95).

Пример:

- Время работы: 3 часа
- Коэффициент разряда: 0.9
- Скорректированное время работы: $3 \text{ часа} \times 0.9 = 2.7$ часа

Для расчета времени работы ИБП нужно определить емкость аккумулятора в ватт-часах, суммарную мощность подключенных устройств и применить формулу расчета времени работы с учетом коэффициента разряда. Это поможет вам понять, как долго ИБП сможет поддерживать работу ваших устройств в случае отключения электроэнергии. Пример расчета:

- Емкость аккумулятора: 100 Ач при 12 В = 1200 Wh
- Мощность нагрузки: 400 Вт
- Время работы: $1200 \text{ Wh} / 400 \text{ Вт} = 3 \text{ часа}$
- Скорректированное время работы: $3 \text{ часа} \times 0.9 = 2.7 \text{ часа}$

Таким образом, ваш ИБП сможет поддерживать работу устройств на протяжении примерно 2.7 часов.

Примеры расчетов ИБП для различных приложений: Для различных приложений, будь то домашний офис, серверная комната или промышленное оборудование, важно провести точный расчет мощности и времени работы ИБП. Рассмотрим несколько примеров расчетов для разных ситуаций.

Пример 1: Домашний офис

Устройства:

- Компьютер: 300 Вт
- Монитор: 50 Вт
- Маршрутизатор: 20 Вт

Суммарная мощность: $300 \text{ Вт} + 50 \text{ Вт} + 20 \text{ Вт} = 370 \text{ Вт}$

Необходимая мощность ИБП: $370 \text{ Вт} / 0.8 \approx 462.5 \text{ Вт}$

Емкость аккумулятора:

- Емкость: 100 Ач при 12 В = 1200 Wh

Время работы: $1200 \text{ Wh} / 370 \text{ Вт} \approx 3.24 \text{ часа}$

Скорректированное время работы: $3.24 \text{ часа} \times 0.9 \approx 2.92 \text{ часа}$

Пример 2: Серверная комната

Устройства:

- Сервер: 500 Вт
- Коммутатор: 100 Вт
- Система охлаждения: 200 Вт (учитывая пусковой ток 400 Вт)

Суммарная мощность: $500 \text{ Вт} + 100 \text{ Вт} + 200 \text{ Вт} = 800 \text{ Вт}$

Необходимая мощность ИБП: $800 \text{ Вт} / 0.8 = 1000 \text{ Вт}$

Емкость аккумулятора:

Емкость: 200 Ач при 24 В = 4800 Wh

Время работы: $4800 \text{ Wh} / 800 \text{ Вт} = 6 \text{ часов}$

Скорректированное время работы: $6 \text{ часов} \times 0.9 = 5.4 \text{ часа}$

Пример 3: Промышленное оборудование

Устройства:

- Промышленный компьютер: 200 Вт
- Система контроля: 150 Вт
- Насос: 100 Вт (учитывая пусковой ток 200 Вт)

Суммарная мощность: $200 \text{ Вт} + 150 \text{ Вт} + 100 \text{ Вт} = 450 \text{ Вт}$

Необходимая мощность ИБП: $450 \text{ Вт} / 0.8 \approx 562.5 \text{ Вт}$

Емкость аккумулятора:

Емкость: 150 Ач при 12 В = 1800 Wh

Время работы: $1800 \text{ Wh} / 450 \text{ Вт} = 4 \text{ часа}$

Скорректированное время работы: $4 \text{ часа} \times 0.9 = 3.6 \text{ часа}$

Для различных приложений расчет мощности и времени работы ИБП помогает определить подходящее устройство для обеспечения надежного электроснабжения. Правильный расчет включает определение суммарной мощности подключаемых устройств, учет коэффициента мощности и емкости аккумулятора. Эти примеры демонстрируют, как выполнить расчеты для различных сценариев, обеспечивая стабильную и эффективную работу ваших систем.

Задание.

Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Что является ключевым шагом для обеспечения надежного электроснабжения и защиты ваших устройств от перебоев в подаче электроэнергии
2. Какую роль в защите домашнего, офисного и промышленного оборудования, обеспечивая временное питание, стабилизацию напряжения и защиту от электрических помех.
3. Что позволяет выбрать правильный ИБП для системы

Лабораторная работа №3

Исследование схем простейшего выпрямления трехфазного переменного тока

1. Цель работы.

Изучение принципа действия трёхфазных одноконтурной и мостовой схем выпрямления. Экспериментальное исследование их характеристик и особенностей схемотехнических реализаций.

2. Подготовка к работе.

2.1. С помощью рекомендуемой в данном методическом пособии литературы [1-4] и приложения к лабораторной работе подготовьте теоретический материал по следующим вопросам:

- общие сведения и особенности схемотехнического построения трансформаторно - выпрямительных устройств;
- принцип действия выпрямительных устройств, питающихся от трёхфазной сети переменного тока;
- процессы функционирования исследуемых многофазных схем выпрямления при различных видах нагрузки;
- особенности лабораторной установки (смотри пункт 7).

2.2. Ознакомьтесь с методическими указаниями к данной лабораторной работе.

2.3. Подготовьте бланки отчёта, где приведите информацию, необходимую в дальнейшем для выполнения лабораторной работы.

2.4. Рассмотрите назначение каждого элемента схемы выпрямления, цель каждого опыта, ожидаемые результаты.

2.5. Ответьте на контрольные вопросы.

2.6. Подготовьте осциллограф к работе в режиме непрерывной развертки с «закрытым входом», с синхронизацией от сети в диапазоне 10-50 Гц.

3. Контрольные вопросы.

3.1. Почему в многофазных схемах выпрямления предпочтительным является индуктивный характер нагрузки?

3.2. Каковы формы токов во вторичных и первичных обмотках трансформаторов трехфазной схемы выпрямления, имеющей нагрузку индуктивного характера?

3.3. Какова форма токов во вторичных и первичных обмотках трансформаторов для шестифазной мостовой схемы выпрямления, имеющей нагрузку индуктивного характера?

3.4. Какое влияние оказывает индуктивность рассеяния трансформатора на форму токов во вторичных обмотках и форму выходного напряжения? Поясните ответ на примере трехфазной одноконтурной схемы выпрямления, имеющей нагрузку индуктивного характера.

3.5. Какова форма выпрямленного напряжения на нагрузке трехфазной мостовой схемы выпрямления (схемы Ларионова)?

3.6. Дайте пояснения графикам внешних характеристик трехфазных схем выпрямления.

3.7. Как определяется КПД для исследуемых схем выпрямления и можно ли его определить опытным путем, используя лабораторную установку?

3.8. Как определяется коэффициент использования по мощности первичной, вторичной обмотки, а также всего трансформатора в каждой из схем выпрямления при нагрузке индуктивного характера?

3.9. По каким параметрам выбираются диоды для многофазных схем выпрямления?

3.10. Дайте сравнительную оценку по основным параметрам и показателям качества исследуемых схем выпрямления.

4. Содержание работы

4.1. Подготовьте теоретический материал по рекомендованной литературе.

4.2. Проведите исследования процессов функционирования трехфазных схем выпрямления.

4.3. Исследуйте внешние характеристики и определите коэффициенты использования по мощности трансформатора многофазных схем выпрямления.

4.4. Обработка опытных данных.

Пользуясь данными опытов по пункту 4.3, рассчитайте и постройте графики, а также выполните анализ следующих параметров и зависимостей:

- внешние характеристики исследуемых схем выпрямления;
- коэффициенты использования по мощности первичной, вторичной обмоток и трансформатора в целом при нагрузках активного и индуктивного характера.

4.5. По результатам лабораторной работы необходимо сделать выводы.

5. Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать:

5.1. Принципиальную электрическую схему трехфазных выпрямительных устройств.

5.2. Технические данные использованных в работе измерительных приборов.

5.3. Таблицы с результатами измерений и расчетов.

5.4. Осциллограммы токов и напряжений в основных ветвях схем выпрямления при нагрузке активного и индуктивного характера в едином временном масштабе.

5.5. Графики внешних характеристик исследуемых многофазных схем выпрямления, выполненные по данным пункта 4.3.

5.6. Выводы и сравнительную характеристику полученных результатов по пунктам 4.2, 4.3, 4.4.

6. Методические указания по выполнению лабораторной работы

6.1. Порядок изучения теоретических вопросов (к пункту 4.1).

Изучите особенности схмотехнического исполнения и органов управления лабораторной установки (смотри пункт 7). Проведите анализ схемы установки и режимов её работы, предназначенных для исследования трёхфазных схем выпрямления.

Перед выполнением работы получите у преподавателя контрольные вопросы по изучаемому материалу и подготовьте ответы на них. Уточните у преподавателя форму и объём их представления в отчёте.

Примечание: Не допускается дальнейшее выполнение лабораторной работы без разрешения преподавателя. Условием допуска к выполнению работы является знание особенностей схмотехнического исполнения лабораторной установки (смотри пункт 7).

На передней панели и в описании работы используются следующие обозначения:

U_0, I_0 – выпрямленное напряжение и ток нагрузки;

U_1, I_1, U_2, I_2 – действующие значения напряжений и токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора выпрямителя, причём I_1^* – действующее значение первичного тока без учёта тока холостого тока;

P_0 – мощность постоянного тока на выходе выпрямителя;

$S_1, S_2, S_{тр}$ – полные габаритные мощности соответственно первичных, вторичных обмоток и всего трансформатора;

$K_1, K_2, K_{тр}$ – коэффициенты использования соответственно первичной, вторичной обмоток и всего трансформатора;

L_H, R_H – индуктивность и активное сопротивление нагрузки.

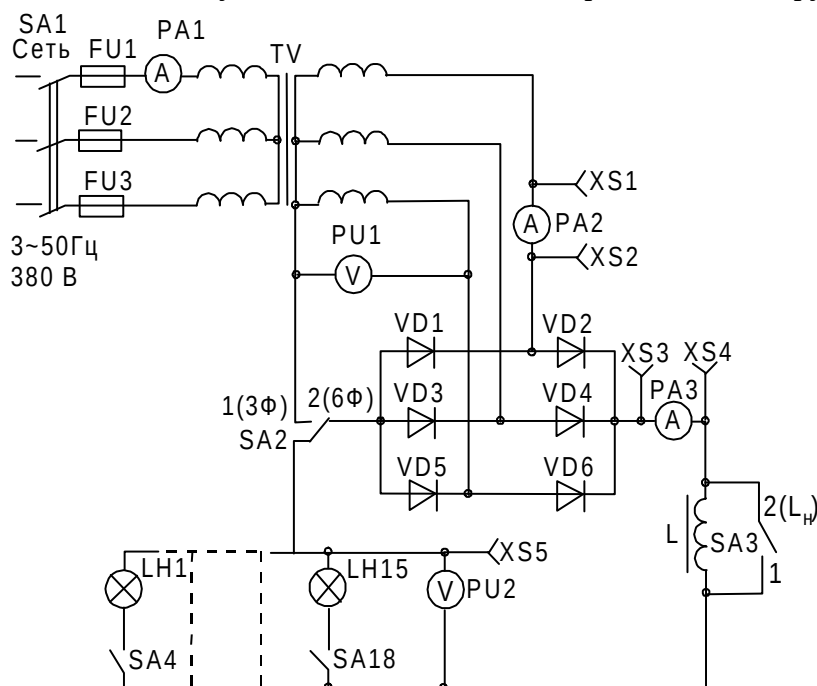


Рис. 5.1. Принципиальная схема стенда трёхфазных схем выпрямления

6.2. Исследование процессов функционирования многофазных схем выпрямления (К пункту 4.2).

С помощью осциллографа в гнездах макета можно наблюдать следующие осциллограммы напряжений и токов:

XS1 - XS2 - осциллограмма тока вторичной обмотки трансформатора TV;

XS2 - XS3 - осциллограмма обратного напряжения на диоде VD2;

XS3 - XS4 - осциллограмма выпрямленного тока;

XS4 - XS5 - осциллограмма выпрямленного напряжения.

Примечание: При наблюдении осциллограмм токов роль измерительных резисторов (датчиков тока) выполняют сопротивления обмоток амперметров PA2 и PA3.

Для исследования процессов функционирования многофазных схем выпрямления необходимо переключателем SA2 установить одну из схем выпрямления (положению вверх, «3ф» - соответствует трёхфазная одноконтная схема выпрямления, положению вниз, «6ф» - двухконтная трёхфазная схема Ларионова). С помощью переключателя SA3 выбрать вид нагрузки (положению вверх или «L_H» соответствует индуктивный характер нагрузки, положению вниз или «R_H» - активный). Осциллограммы процессов зарисовать при значении тока нагрузки, равном 0,75 от максимального

6.2.1. Исследование трёхфазной одноконтной схемы выпрямления (к пункту 4.2).

Активный характер нагрузки.

Установите переключатель SA3 в нижнее положение «R_H», соответствующее активному характеру нагрузки ($L = 0$). Включите макет выключателем сети SA1, установив его в положение «Сеть». С помощью переключателей SA4 - SA18 установите по амперметру максимальную величину нагрузки схемы выпрямления. Зарисуйте осциллограммы, подключая осциллограф последовательно к парам гнезд XS1...XS5. При этом следует добиваться размеров изображения по вертикали не более двух третей от рабочей высоты

маски экрана. По горизонтали, то есть оси времени, должно быть 1,5 - 2 периода наблюдаемого процесса. При наблюдении процессов используйте “закрытый вход” осциллографа. Изображая осциллограмму в отчёте, необходимо учитывать постоянную составляющую.

Индуктивный характер нагрузки.

Для индуктивного характера нагрузки установите переключатель SA3 в верхнее положение «L_n», соответствующее индуктивному характеру нагрузки ($L > 0$, $R > 0$). Дальнейшие исследования выполняются аналогично вышеизложенному для активной нагрузки. Зарисуйте осциллограммы.

6.2.2. Исследование трёхфазной мостовой схемы выпрямления (схемы Ларионова).

Переведите переключатель SA2 в положение 2 «6ф». Переключателем SA3 устанавливается соответствующий вид нагрузки. Выполните исследования аналогично по методике, приведённой в пункте 6.2.1.

6.3. Исследование внешних характеристик и коэффициентов использования по мощности трансформатора трёхфазных схем выпрямления (к пункту 4.3).

6.3.1. Исследование внешних характеристик схем выпрямления.

Внешняя характеристика схемы выпрямления представляет собой зависимость $U_0 = f(I_0)$ при $U_c = \text{const}$, где U_0 и I_0 - напряжение и ток нагрузки.

Так как на входе макета нет регулирующих устройств, изменяющих величину напряжения сети, то условие $U_c = \text{const}$ обеспечивается всегда.

Начиная с режима холостого хода выпрямителя, и последовательно наращивая число включенных переключателей SA4 - SA18, увеличивайте ток нагрузки в исследуемой схеме выпрямления. Для каждого значения тока нагрузки (измеряемого с помощью амперметра PA3) регистрируйте показания вольтметра PV2, а данные занесите в таблицу 5.1. Измерения необходимо производить в диапазоне изменения тока нагрузки от 0 до максимального значения.

Таблица 5.1.

№ п/п	3-х фазная однотактная схема Вид нагрузки				Трёхфазная мостовая схема Ларионова Вид нагрузки			
	Активная (R)		Индуктив ная (RL)		Активная (R)		Индуктивн ая (RL)	
	I_0 , А	U_0 ,В	I_0 , А	U_0 ,В	I_0 , А	U_0 ,В	I_0 ,А	U_0 ,В
1								
2								
.								
.								
.								

6.3.2. Исследование коэффициентов использования по мощности трансформатора (К пункту 4.3).

Коэффициент использования по мощности первичной обмотки, вторичной, а также всего трансформатора определяется в каждой из схем выпрямления для нагрузки активного и индуктивного характера. При этом необходимо установить максимальную величину тока нагрузки, зарегистрировать показания приборов I_0 , U_0 , I_1 , I_2 , U_2 и данные занести в таблицу 5.2. Расчёт коэффициентов производится по формулам, приведённым в таблице 5.2.

Примечание:

1) Фазное напряжение первичной обмотки во всех случаях считать равным 220В.

2) Из показаний прибора РА1 (тока I_1) надо вычитать значение тока холостого хода трансформатора, равное примерно 70 мА, при этом в таблицу заносятся значения I_1^* -первичного тока без учёта тока холостого хода, т.е. $I_0^*=I_0-70\text{мА}$.

Коэффициенты использования по мощности первичной, вторичной обмоток и всего трансформатора определяются по выражениям, приведённым в таблице 9.2.

6.4. Обработка опытных данных (К пункту 4.4).

По данным таблицы 5.1. построить в единой координатной системе внешние характеристики исследуемых схем выпрямления.

Таблица 5.2.

Измеренные и рассчитанные значения	3-х фазная одноконтная схема		3-х фазная мостовая схема	
	Активная нагрузка (R)	Индуктив. нагрузка (RL)	Активная нагрузка (R)	Индиктив. нагруз. (RL)
$I_0, \text{ A}$ $U_0, \text{ B}$ $I_1^*, \text{ A}$ $U_1, \text{ B}$ $I_2, \text{ A}$ $U_2, \text{ B}$ $P_0=U_0 \times I_0, \text{ Вт}$ $S_1=3U_1 \times I_1^*, \text{ ВА}$ $S_2=3U_2 \times I_2, \text{ ВА}$ $S_{\text{тр}}=(S_1+S_2)/2, \text{ ВА}$ $K_1=P_0/S_1$ $K_2=P_0/S_2$ $K_{\text{тр}}=P_0/S_{\text{тр}}$	220	220	220	220

Коэффициенты использования по мощности первичной обмотки трансформатора K_1 , вторичной K_2 , и всего трансформатора $K_{\text{тр}}$ в схеме выпрямления определяются по формулам:

$$K_1=P_0/S_1; \quad K_2=P_0/S_2; \quad K_{\text{тр}}=P_0/S_{\text{тр}},$$

где $P_0=U_0 I_0$ - мощность постоянных составляющих напряжения и тока на выходе схемы выпрямления; $S_{\text{тр}}=(S_1+S_2)/2$ - габаритная мощность трансформатора; $S_1=3U_1 I_1^*$ - габаритная мощность первичной обмотки трансформатора; $S_2=3U_2 I_2$ - габаритная мощность вторичной обмотки трансформатора; U_1, I_1, U_2, I_2 - действующие значения напряжений и токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

6.5. Выводы по результатам исследований схем выпрямления (к пункту 4.5).

По полученным результатам исследований многофазных схем выпрямления необходимо сформулировать выводы. В этих выводах следует отразить:

1) Особенности процессов функционирования каждой схемы со ссылкой на приведённую осциллограмму;

2) Результаты сопоставления и анализа схем выпрямления по внешним характеристикам, полученным экспериментально (чем отличаются и почему);

3) Результаты сопоставления и анализа схем выпрямления по коэффициентам использования трансформатора.

7. Особенности лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой устройство для экспериментального исследования трёхфазных одноконтной и двухконтной мостовой схем выпрямления (смотри

рис.5.1). В качестве силового трансформатора используется трёхфазный трансформатор 380/36 В, включенный по схеме Y/Y . Установка включается с помощью тумблера SA1 (положение “вверх”), расположенного в левом нижнем углу лицевой панели макета. Там же расположены гнезда трёх предохранителей макета: FU1 – FU3.

Установка содержит переключатели, задающие тип исследуемого выпрямителя и режимы работы выпрямителя:

- SA2 – тумблер переключения схемы выпрямления: в положении 1 или вверх подключается трёхфазный выпрямитель, в положении 2 – шестифазный выпрямитель (схема Ларрионова).

- SA3 – тумблер изменения характера нагрузки путём подключения дросселя (в положении 1, когда тумблер замкнут, дроссель отключен, в положении 2 или вверх тумблер разомкнут, а дроссель подключен);

- SA4 – SA18 – тумблеры подключения и регулирования активной нагрузки, в качестве которой используются лампы накаливания LH1 – LH15 (положение 1 или вверх, когда тумблер замкнут, соответствует подключению той или иной лампы).

На лицевой панели стенда расположены измерительные приборы, среди которых амперметры находятся в верхнем ряду. Посредством амперметров PA1 и PA2 производится измерение действующего значения токов соответственно первичной и вторичной обмоток одной и той же фазы трансформатора. Ток в нагрузке измеряется с помощью амперметра PA3. Вольтметры расположены в нижнем ряду по краям панели. Действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора измеряется с помощью вольтметра PU1, а выпрямленное напряжение на нагрузке измеряется с помощью вольтметра PU2.

На передней панели лабораторной установки имеются гнезда для наблюдения следующих параметров:

XS1 – XS2 – ток вторичной обмотки трансформатора;

XS3 – XS4 – средний выпрямленный ток в нагрузке;

XS4 - XS5 – напряжение на нагрузке выпрямителя.

8. Приложение

Система трёхфазного тока и трёхфазные выпрямители

Системы трёхфазного напряжения или тока используют для передачи и преобразования электрической энергии средней и большой мощности, а также для электропитания мощных выпрямительных устройств с нагрузкой индуктивного характера. Трёхфазная система позволяет получить определённые преимущества в части экономии материалов проводников, и электроэнергии.

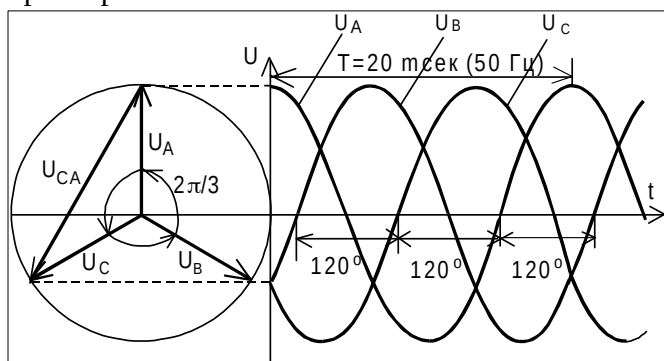


Рис. 5.2. Диаграмма трёхфазных напряжений

На рисунке 5.2 показана диаграмма трёхфазных напряжений. Трёхфазная система напряжений представляет собой совокупность трёх однофазных синусоидальных напряжений одинаковой амплитуды и частоты, сдвинутых относительно друг друга на треть периода ($2\pi/3 = 120^\circ$). Фазные напряжения, то есть напряжения фаз относительно общего, нулевого провода

и фазные токи принято обозначать U_ϕ , I_ϕ . Напряжения и токи между фазными выводами называются линейными и обозначаются U_L , I_L . На рисунке 5.2 $U_\phi = U_A = U_B = U_C$, $U_L = U_{CA}$.

Широко распространена система трёхфазного напряжения величиной 380 В или 0,4 кВ (в обозначении указывается действующее значение линейного напряжения), для которой фазное напряжение $U_\phi = 220\text{В}$.

В трёхфазных трансформаторах принято маркировать обмотки на стороне высокого напряжения прописными буквами «А», «В» и «С» - начала обмоток, концы - «Х», «У» и «Z», а на стороне низкого напряжения – строчными «а», «в» и «с» - начала обмоток, концы - «х», «у» и «z».

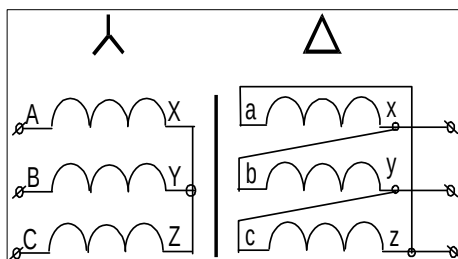


Рис.5.3.Соединение обмоток "звезда-треугольник"

Обмотки трансформаторов включаются по схеме “звезда” или “треугольник”, как показано на рис. 5.3.

При соединении «звездой» фазные токи равны линейным, а напряжения $U_L = \sqrt{3} U_\phi$ (смотри рис.5.4).

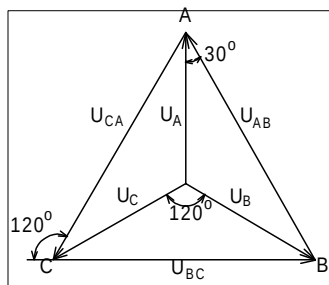


Рис. 5.4. Векторная диаграмма в случае соединения "звездой"

В случае соединения «треугольником» фазные напряжения равны линейным, а для токов справедливо следующее соотношение $I_L = \sqrt{3} I_\phi$.

Полная мощность S трёхфазной системы и её составляющие: активная P и реактивная Q , равны сумме соответствующих фазных мощностей.

$$P = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

Принципиальная электрическая схема трёхфазного однополупериодного выпрямителя изображена на рис. 5.5.

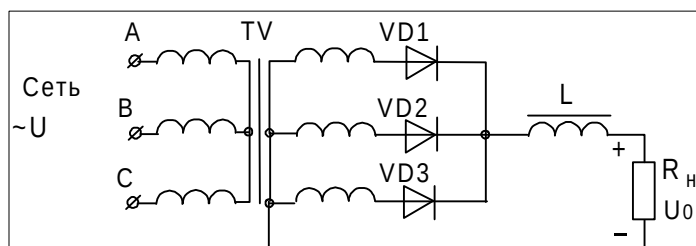


Рис. 5.5. Схема трёхфазного однополупериодного выпрямителя

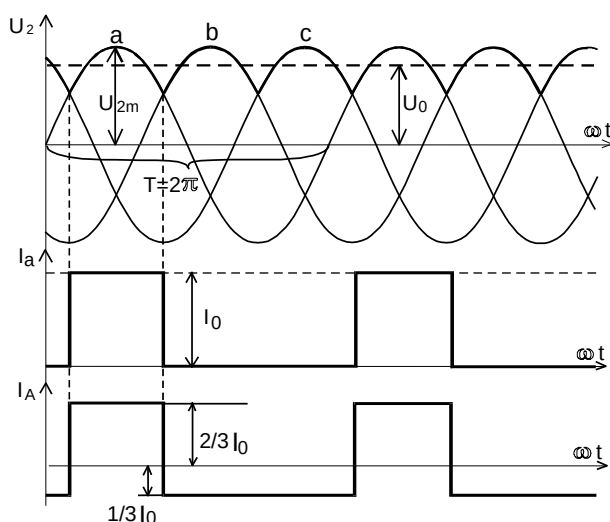


Рис. 5.6. Диаграммы напряжений и токов трёхфазного выпрямителя: I_a - ток во вторичной обмотке, I_A - первичный ток фазы A

Выпрямленное напряжение в таком выпрямителе представляется в виде огибающей напряжений всех фаз вторичных обмоток трансформатора.

Приведённая схема выпрямителя редко применяется из-за сравнительно большого коэффициента пульсаций $K_{\Pi} = 0,25$ по первой гармонике, имеющей частоту $f_{\Pi} = 150$ Гц и подмагничивания магнитопровода трансформатора.

Диаграммы напряжений и токов в характерных точках схемы выпрямителя приведены на рисунке 5.6 для случая индуктивной нагрузки. При этом токи в фазных обмотках трансформатора имеют практически прямоугольную форму при $L \rightarrow \infty$.

На практике наиболее распространена схема трёхфазного мостового выпрямителя (схема Ларионова), изображённая на рис. 5.7. Диаграммы напряжений и токов в такой схеме (для активной нагрузки) приведены на рисунке 5.8.

В промежутке времени $T/3 = 2\pi/3$ открыт один из вентилей выпрямителя (например VD1), на аноде которого наиболее положительное напряжение. В течение указанного интервала с другой стороны по отношению к нагрузке оказываются открытыми поочерёдно вентили VD4 и VD6, так как на их катодах будет наиболее отрицательное напряжение. Ток во вторичной I_a и первичной I_A обмотках трансформатора будет симметричен относительно нуля и подмагничивание магнитопровода отсутствует.

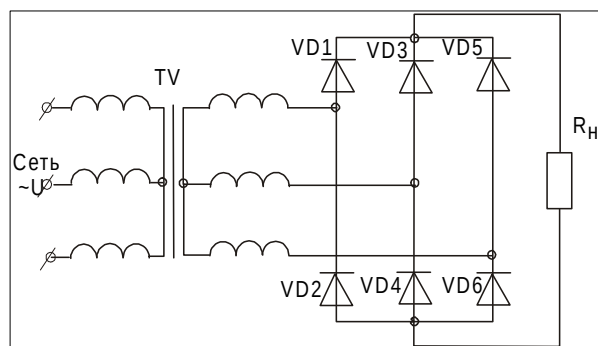


Рис.5.7. Схема Ларионова

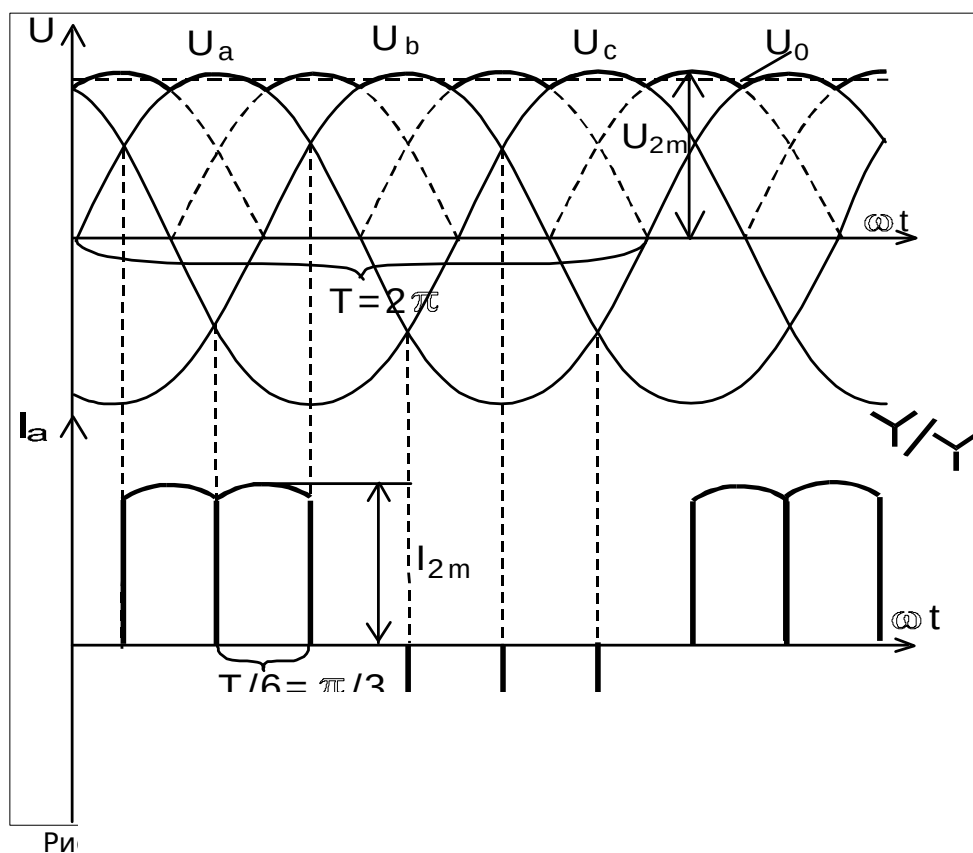
Схема Ларионова состоит из двух однотактных трехфазных выпрямителей, входы которых соединены последовательно. Они используют одну общую для них трехфазную обмотку трансформатора, а выпрямленные выходные напряжения сдвинуты по фазе на 180° .

Один выпрямитель состоит из трехфазной вторичной обмотки трансформатора и вентилях VD1, VD3, VD5. Его выходное напряжение - огибающая полувольт напряжений U_a , U_b , U_c , изображенных на рис. 5.8 сплошными линиями выше оси ωt .

Другой выпрямитель состоит из тех же обмоток и вентилях VD2, VD4, VD6. Выходное напряжение второго выпрямителя тоже представляет собой огибающую тех же полувольт напряжений, но изображенных на рис. 5.8 пунктирными линиями выше оси ωt после сдвига их по фазе на 180° при работе выпрямителя на общую нагрузку R_n .

В результате общая огибающая выпрямленных напряжений обоих выпрямителей на нагрузку R_n изображена на рис. 5.8 выше оси ωt в виде шести полувольт со средним значением выходного напряжения U_0 .

Очевидно, что частота пульсаций в таком выпрямителе составит величину 300 Гц, и $K_{\text{ПН}} = 0,057$.



Лабораторная работа №4 Исследование выпрямителя с п-фильтром

Цель работы

Экспериментальное определение параметров однополупериодного выпрямителя с фильтром.

Домашнее задание

Вычислить величину индуктивности дросселя фильтра рис. 2. (Индуктивность, используемая в качестве фильтра, называют дросселем). Резонансная частота параллельного контура LC-фильтра должна быть в десять раз больше частоты питающей сети.

$$L = 10 / (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C \text{ [Гн]},$$

$C = 50,0$ мкФ (емкости $C1$ и $C2$ включены последовательно по отношению к индуктивности), f - частота питающей сети Гц. Частоту сети взять из таблицы вариантов.

Основные параметры выпрямителя с фильтром

- Выпрямленное напряжение – напряжение на нагрузке U_H .
- Коэффициент пульсаций – $q = U_{\Pi} / U_H$, где U_{Π} – переменная составляющая первой основной гармоники выпрямленного напряжения,
- Выходное сопротивление выпрямителя – $R_{\text{вых}} = \Delta U_H / \Delta I_H$, здесь ΔU_H – изменение напряжения на нагрузке при изменении тока нагрузки на величину ΔI_H .
- Мощность в нагрузке – $P_H = U_H I_H$.
- Коэффициент сглаживания фильтра – $S_{\text{сг}} = q_{\text{вх}} / q_{\text{н}}$, где $q_{\text{вх}}$ – амплитуда пульсаций на входе фильтра, $q_{\text{н}}$ – амплитуда пульсаций на выходе фильтра.

Подготовка к работе

Схема выпрямителя с фильтром

Соберите схему однополупериодного выпрямителя без фильтра в соответствии с рисунком 6 (емкость $C1$ пока не подключать!).

Установите в схему диод, заданный согласно варианту.

Входное напряжения источника $E_{\sim}$ и его частота указаны в варианте. В качестве трансформатора использовать модель трансформатора со средней точкой, имеющийся в наборе элементов.

На схеме амперметр I_H (V4) предназначен для измерения постоянной составляющей тока нагрузки. Вольтметры U_H (V3) и U_{Π} (V2) – для измерения постоянной и переменной (напряжение пульсаций) составляющих напряжения нагрузки, вольтметр $U_{\sim}$ (V1) – для измерения входного переменного напряжения U_2 .

Входы осциллографа желательно выделить цветом.

Вольтметры V1 и V2 включить в режим AC – измерения переменного напряжения.

Сопротивление нагрузки R_H состоит из резисторов R_H , $R1$ и сопротивления величиной 1 Ом . Последнее предназначено для измерения амплитуды тока через диод. Сопротивление $R1 = U_2 / (2I_{\text{доп}})$, $R_H = U_2 / I_{\text{мин}}$, где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток через диод, для приведенных в таблице вариантов диодов принять $I_{\text{доп}} = 500\text{ мА}$, $I_{\text{мин}} = 2 \div 3\text{ мА}$.

Порядок выполнения работы

4.2.1 Включите режим моделирования выпрямителя.

Изменяя величину сопротивления R_H снимите зависимости напряжения на нагрузке U_H и напряжения пульсаций U_{Π} от тока нагрузки I_H .

Максимальное значение тока нагрузки должно быть близко к допустимому току диода $I_{\text{доп}}$, но не превышать его. Результаты измерений занесите в таблицу 4.

4.2.2 Установите ток нагрузки равный примерно $I_{\text{доп}}/2$.

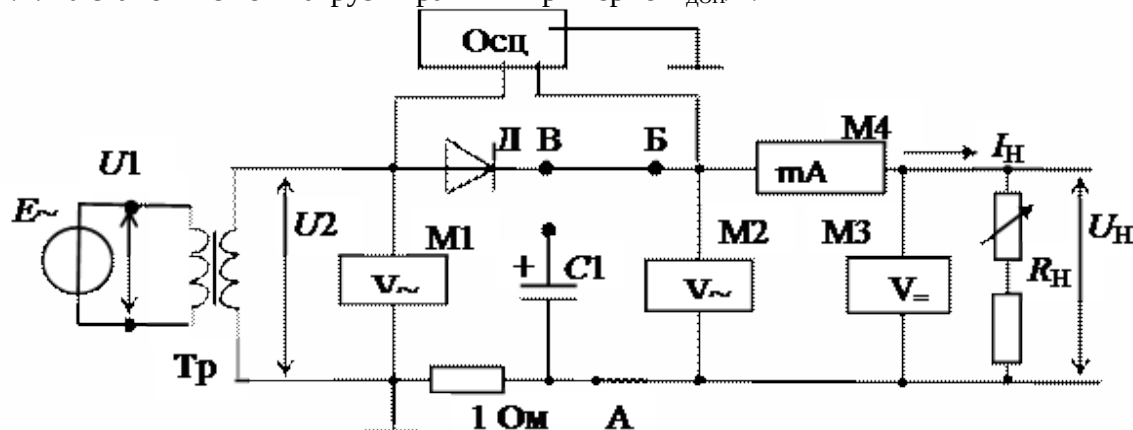


Рис. 6. Схема исследования однополупериодного выпрямителя

Дважды щелкнуть по изображению осциллографа, нажать кнопку Expand. Осциллограф перейдет в режим большого экрана. В окне Time base треугольником установить скорость развертки 5,0 ms/div.

В окнах Canal A и B установить шкалу 20 v/div. Нажать клавишу Pause. Нижним «бегунком» переместить изображение в центр экрана. Захватить курсором красную риску, расположенную слева экрана и перетащить ее на максимальное значение синусоиды. В окне слева появится значение напряжений первого и второго каналов.

Срисуйте осциллограммы входного напряжения и напряжения на нагрузке.

По осциллограмме определите амплитудное значение обратного напряжения на диоде. Закройте осциллограф, нажав клавишу Reduce C 1

Переключите второй вход осциллографа от точки Б к резистору 1Ом (точка А).

Раскройте осциллограф кнопка Expand. Включить моделирование, через 3 – 5 секунд нажать кнопку Pause.

Снимите осциллограмму тока через диод, увеличив чувствительность второго канала.

По осциллограмме определите максимальную амплитуду тока через диод. ($I_d = U_1 / R = U_1 / 1$, здесь U_1 – напряжение на резисторе 1Ом).

Осциллограф оставьте подключенным к точке А и закройте его.

Табл. 4. Влияние изменения тока нагрузки на выходное напряжение.

	I_H , мА				$I_{доп}/2$				$I_{доп}$
Пункт 4.2.1	U_H , В								
	U_P , В								
Пункт 4.2.6	U_H , В								
	U_P , В								
Пункт 4.2.7	U_H , В								
	U_P , В								

4.2.3 В выпрямителе без фильтра установить ток нагрузки равный примерно $I_{доп} / 2$. Соберите схему выпрямителя с емкостным фильтром (С-фильтр), для чего подключите емкость С 1 к точке В.

Изменяя значение емкости от 0,5 мкФ до 500 мкФ снимите зависимости напряжений U_H и U_P от величины емкости С 1.

Результаты измерений занесите в таблицу 5.

Табл. 5. Влияние емкости С 1.

С 1, мкФ	0,5								
U_H , В									
U_P , В									

4.2.4 Установите значение емкости С 1 = 200мкФ, $I_H = I_{доп}/2$.

Раскройте осциллограф, измерьте максимальное значение тока через диод. Результат измерения занесите в протокол.

Переключите осциллограф к точке Б. Снимите осциллограмму напряжения на нагрузке U_H . Результаты измерений занесите в протокол.

По осциллограмме измерьте максимальное обратное напряжение на диоде и запишите в протокол.

4.2.5 Отключите нагрузку (режим холостого хода) и измерьте напряжение $U_{нхх}$. Оно будет близко к амплитудному напряжению на выходе выпрямителя U_m . Проверьте соотношение $U_m = r \cdot U_n$,

где U_n – напряжение на нагрузке выпрямителя без фильтра.

Подключите нагрузку.

4.2.6 При значении емкости $C_1 = 200 \mu\text{Ф}$ снимите зависимости $U_n = F(I_n)$ и $U_n = F(I_n)$. Результаты измерений занесите в таблицу 4. Ток нагрузки I_n не должен превышать предельно допустимого для установленного в схеме диода.

4.2.7 Включите в схему выпрямителя П-образный фильтр рисунок 7.

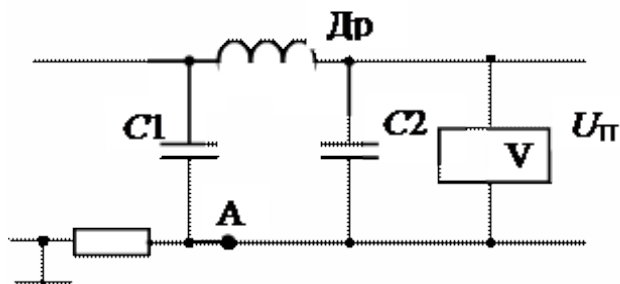


Рис 7. П-образный фильтр

Фильтр включается между точками В и Б выпрямителя. Емкость C_1 уже включена.

Установите $C_1 = C_2 = 100 \mu\text{Ф}$. Величину индуктивности дросселя установить такой величины, что была получена в расчете пункта 2.2. Снимите зависимости $U_n = F(I_n)$ и $U_n = F(I_n)$.

Результаты измерений занесите в таблицу 4.

Установить ток нагрузки $I_n = I_{\text{доп}}/2$. Записать напряжение пульсаций вольтметр V2. Переключить этот вольтметр к емкости C_1 и измерить напряжение пульсаций.

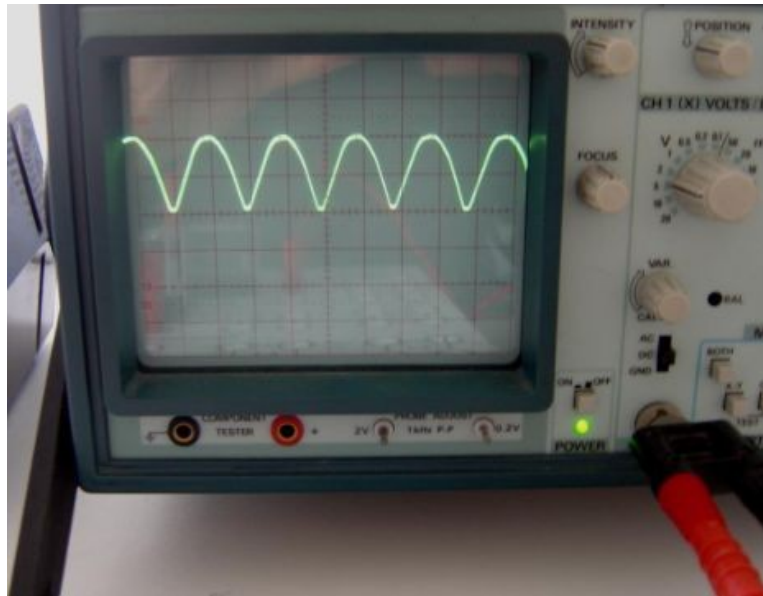
4.2.8 Для режима пункта 4.2.7 записать значения напряжения и тока нагрузки и вычислить мощность, выделяющуюся в нагрузке $P_n = U_n \cdot I_n$.

Лабораторная работа №5

Исследование параметров сглаживающих фильтров

Для работы различных электронных устройств необходимы источники напряжения, обеспечивающие питание устройств постоянным током. Выходное напряжение выпрямителей имеет пульсирующий вид. В нем можно выделить среднюю или постоянную, составляющую напряжения и переменную составляющую, которую называют напряжением пульсаций или пульсациями выходного напряжения.

Таким образом, пульсации определяют отклонения мгновенного значения выходного напряжения от среднего и могут быть как положительными, так и отрицательными. Пульсации напряжения характеризуются двумя факторами: частотой и амплитудой пульсаций. В выпрямителях частота пульсаций либо такая же, как и частота входного напряжения (в однополупериодном выпрямителе), либо вдвое выше (в двухполупериодных выпрямителях).



В однополупериодном выпрямителе для получения выходного напряжения используется только одна полуволна входного напряжения, и выходное напряжение имеет вид однонаправленных полуволн, следующих с частотой входного напряжения.

В двухполупериодных выпрямителях (и с выводом нулевой точки, и в мостовом) полуволны выходного напряжения образуются из каждой полуволны входного напряжения. Поэтому частота пульсаций здесь вдвое выше, чем частота сети. Если частота тока в сети 50 Гц, то такова же будет частота пульсаций в однополупериодном выпрямителе, а в двухполупериодных она составляет 100 Гц.

Амплитуду пульсаций выходного напряжения выпрямителя необходимо знать с тем, чтобы определить эффективность устанавливаемых на выходе выпрямителей фильтров, выделяющих среднюю составляющую напряжения. Эту амплитуду принято характеризовать коэффициентом пульсаций (E_{rms}), который определяется как отношение действующего значения переменной составляющей выходного напряжения к его среднему значению (E_{dc}):

$$r = E_{rms}/E_{dc}$$

Чем ниже коэффициент пульсаций, тем выше эффективность фильтра. Часто на практике используют также коэффициент пульсаций, выраженный в процентах: $(E_{rms}/E_{dc}) \times 100\%$.

В источниках электропитания используются обычно фильтры нижних частот. Эти фильтры пропускают со входа на выход, почти не ослабляя или ослабляя незначительно, сигналы, частоты которых ниже граничной частоты фильтра, и все более высокие частоты практически не пропускаются на выход фильтра.

Фильтры могут быть выполнены на резисторах, катушках индуктивности и конденсаторах. Использование фильтров в источниках питания преследует цель сгладить пульсации выходного напряжения выпрямителей и выделить постоянную составляющую напряжения.

Фильтры, используемые в устройствах электропитания, подразделяются на два основных вида:

- фильтры с емкостным входом,
- фильтры с индуктивным входом.

Применяют различные комбинации включения элементов фильтра, имеющие различные названия (Π-образный фильтр, Г-образный фильтр и т. п.). Основной вид фильтра определяется элементом фильтра, устанавливаемым непосредственно на выходе выпрямителя. На рис. 1а и б показаны основные типы фильтров. В первом из них конденсатор фильтра включен на выходе выпрямителя и шунтирует нагрузку. Именно через конденсатор фильтра замыкается основная часть переменной составляющей тока выпрямителя. Во втором к выходу

выпрямителя подключен дроссель фильтра, который образует с нагрузкой последовательную цепь и препятствует любым изменениям тока в этой последовательной цепи.

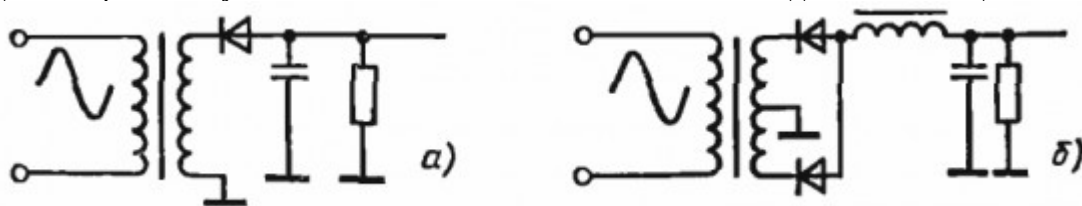


Рис. 1

Фильтр с емкостным входом обеспечивает более высокий уровень выходного напряжения, чем фильтр с индуктивным входом, а фильтр с индуктивным входом лучше сглаживает пульсации напряжения. Таким образом, фильтр с емкостным входом целесообразно использовать в тех случаях, когда требуется получить в источнике питания более высокое напряжение, а фильтр с индуктивным входом — тогда, когда требуется лучшее качество выходного постоянного напряжения.

Фильтр с емкостным входом

Прежде чем рассматривать работу сложных фильтров, необходимо уяснить работу простейшего емкостного фильтра, изображенного на рис 2а. Выходное напряжение выпрямителя без фильтра показано на рис. 2б, а при наличии фильтра — на рис. 2в. При отсутствии конденсатора фильтра напряжение на R_L имеет пульсирующий характер. Среднее значение этого напряжения является выходным напряжением выпрямителя.

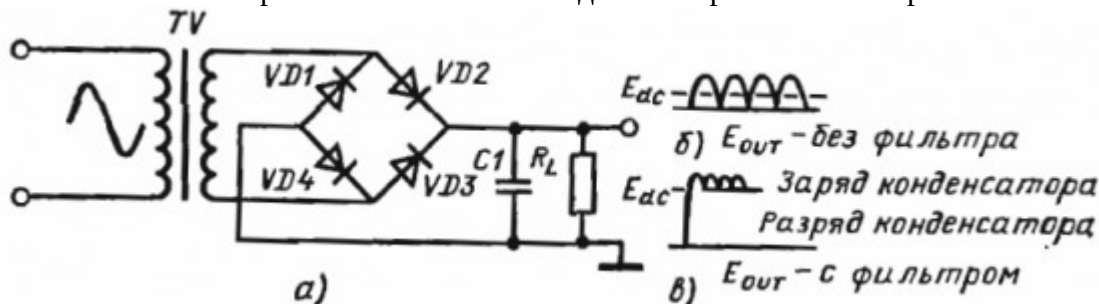


Рис. 2

При наличии конденсатора фильтра основная часть переменной составляющей тока замыкается через конденсатор минуя нагрузку R_L . С появлением первой полуволны выходного напряжения конденсатор фильтра начнет заряжаться положительно относительно корпуса, напряжение на нем будет изменяться в соответствии с выходным напряжением выпрямителя и по окончании половины периода достигнет максимального значения.

Далее напряжение на вторичной обмотке трансформатора уменьшается, а конденсатор начнет разряжаться через R_L , поддерживая положительное напряжение и ток в нагрузке на более высоком уровне, чем было бы при отсутствии фильтра.

Прежде чем конденсатор сможет полностью разрядиться, появляется вторая положительная полуволна напряжения, которая вновь осуществляет заряд конденсатора до максимального значения. Как только напряжение на вторичной обмотке начнет уменьшаться, конденсатор вновь начнет разряжаться на нагрузку. В дальнейшем циклы заряда и разряда конденсатора чередуются в каждом полупериоде,

Ток заряда конденсатора протекает по вторичной обмотке трансформатора и соответствующей данному полупериоду паре выпрямительных диодов, а ток разряда конденсатора замыкается через нагрузку R_L . Реактивное сопротивление конденсатора на частоте сети мало сравнительно с R_L . Поэтому переменная составляющая тока протекает преимущественно через конденсатор фильтра, а через R_L течет практически постоянный ток.

Фильтр с индуктивным входом

Рассмотрим фильтр с индуктивным входом, или Г-образный LC-фильтр. Включение его в выпрямителе и форма выходного напряжения изображены на рисунке 3.

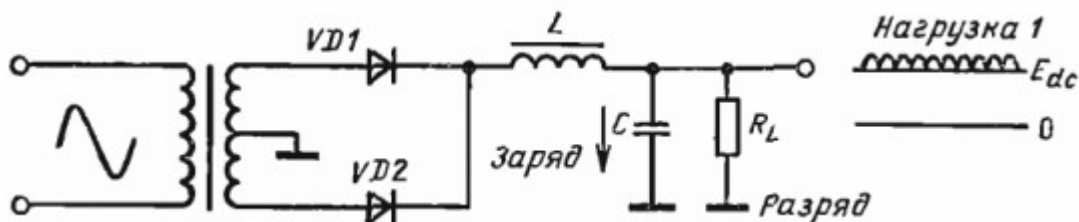


Рис. 3

Последовательное соединение дросселя фильтра (L) с нагрузкой препятствует изменениям тока в цепи. Напряжение на выходе здесь меньше, чем в фильтре с емкостным входом, так как дроссель образует последовательное соединение с полным сопротивлением, образованным параллельным соединением нагрузки и конденсатора фильтра. Такое соединение приводит к хорошему сглаживанию пульсаций напряжения действующих на входе фильтра, улучшению качества постоянного выходного напряжения, хотя и уменьшает его значение.

На индуктивности дросселя почти полностью выделяется переменная составляющая выходного напряжения выпрямителя, а средняя составляющая является выходным напряжением источника питания. Наличие дросселя приводит к тому, что продолжительность проводящего состояния диодов выпрямителя здесь в отличие от выпрямителя с емкостным фильтром равна половине периода.

Реактивное сопротивление дросселя (L) уменьшает значение напряжения пульсации, поскольку препятствует возрастанию тока в дросселе, когда напряжение на выходе выпрямителя больше, чем напряжение на нагрузке, а также препятствует уменьшению тока, если напряжение на выходе выпрямителя меньше среднего значения. Благодаря этому ток в нагрузке за период работы практически постоянен, а напряжение пульсации не зависит от тока нагрузки.

Многозвенный индуктивно-емкостный фильтр

Качество фильтрации выходного напряжения может быть улучшено путем последовательного включения нескольких фильтров. На рис. 4 показан двухзвенный LC-фильтр и примерно изображены формы напряжений в различных точках фильтра относительно общей точки.

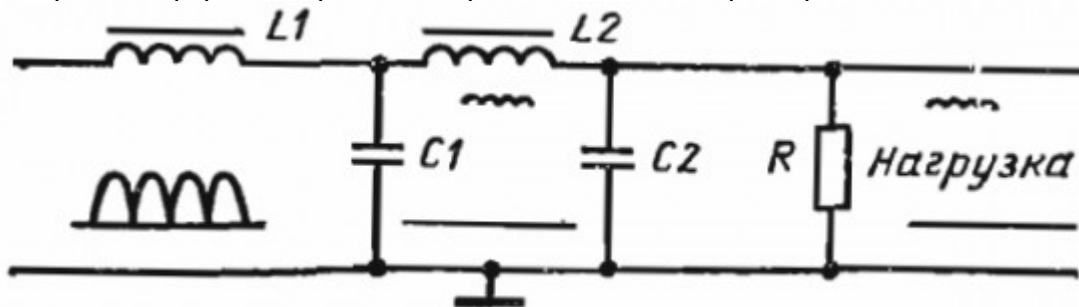


Рис. 4

Хотя здесь изображены два последовательно соединенных LC-фильтра, число звеньев может быть увеличено. Увеличение количества звеньев приводит к уменьшению пульсаций (а многозвенные фильтры применяют именно тогда, когда требуется получить минимальные пульсации в выходном напряжении), но при этом уменьшается устойчивость стабилизаторов с такими фильтрами. К тому же увеличение количества звеньев приводит к увеличению сопротивления, включенного последовательно с источником питания, что вызывает увеличение изменений выходного напряжения с изменением тока нагрузки.

П-образный фильтр

На рис. 5 показан П-образный фильтр, названный так потому, что графическое его изображение похоже на букву П. Он представляет собой сочетание емкостного и Г-образного LC-фильтров.

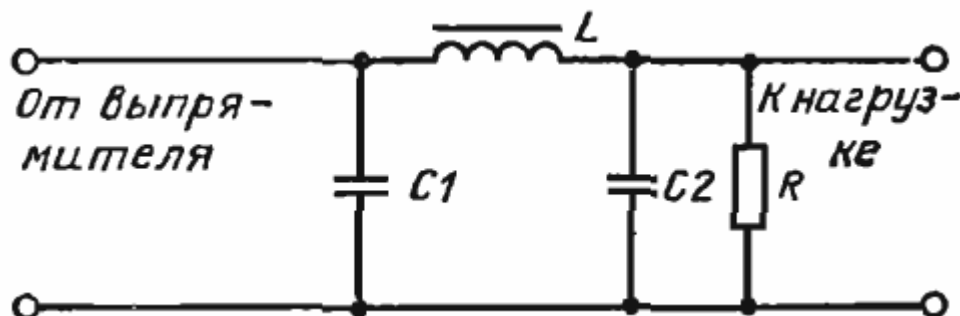


Рис. 5

Резистор R, включенный на выходе фильтра, практически всегда присутствует в источниках питания и является дополнительным нагрузочным сопротивлением. Назначение его двояко.

Во-первых, он обеспечивает путь разряда конденсаторов при отключении напряжения сети и тем самым Предотвращает возможности получения электрических ударов обслуживающим персоналом.

Во-вторых, он обеспечивает дополнительную нагрузку источника питания даже тогда, когда внешняя нагрузка отключена, и тем самым стабилизирует уровень выходного напряжения. Этот резистор можно также использовать как элемент резистивного делителя напряжения для получения дополнительных выходов.

П-образный фильтр — это фильтр с конденсаторным входом, дополненный Г-образным звеном. Основное фильтрующее действие выполняет конденсатор C1, который заряжается через проводящие диоды, а разряжается через L и R. Как и в обычном фильтре с емкостным входом, время заряда конденсатора существенно меньше времени разряда.

Дроссель L сглаживает пульсации тока, протекающего через конденсатор C2, обеспечивая дополнительную фильтрацию. Напряжение на конденсаторе C2 является выходным напряжением. Хотя его значение немного меньше, чем в источнике питания с обычным емкостным фильтром, но пульсации выходного напряжения значительно уменьшены.

Если даже предположить, что конденсатор C1 через проводящие диоды выпрямителя заряжается до амплитудного значения входного переменного напряжения, а затем разряжается через R, напряжение на конденсаторе C2 будет меньше, чем на C1, так как дроссель L, препятствующий любым изменениям тока нагрузки, стоит в цепи разряда конденсатора C1 и образует совместно с C2 и R делитель напряжения.

Ток заряда конденсаторов C1 и C2 проходит через вторичную обмотку трансформатора и проводящие диоды выпрямителя. Кроме того, при заряде C2 этот ток протекает через дроссель L. Разряд конденсатора C1 происходит через последовательно соединенные L и R, а разряд C2 — только через сопротивление R. Скорость разряда входного конденсатора C1 зависит от значения сопротивления R.

Постоянная времени разряда конденсаторов прямо пропорциональна значению R. Если она велика, то конденсаторы разряжаются мало и выходное напряжение велико. При меньших значениях R скорость разряда увеличивается и выходное напряжение будет уменьшаться, так как уменьшение R означает увеличение тока разряда конденсатора. Таким образом, среднее значение выходного напряжения тем ниже, чем меньше постоянная времени разряда конденсаторов.

П-образный C-RC-фильтр

В отличие от только что рассмотренного фильтра в П-образном C-RC-фильтре между двумя конденсаторами вместо дросселя включен резистор R1 так, как это показано на рис. 6.

Основные отличия в работе фильтров определяются различной реакцией дросселя и сопротивления переменному току. В предыдущем случае реактивные сопротивления дросселя L и конденсатора $C2$ таковы, что делитель напряжения, образованный ими, обеспечивал относительно лучшее сглаживание выходного напряжения.

На рис. 6 как постоянная, так и переменная составляющие выпрямленного тока протекают через $R1$. Вследствие падения напряжения на $R1$ от постоянной составляющей выходное напряжение уменьшается, и чем выше ток, тем больше это падение напряжения. Поэтому С-RC-фильтр можно применять только при незначительных токах нагрузки. Как и в случае индуктивно-емкостных фильтров, здесь можно использовать многоступенчатое включение фильтрующих цепей.

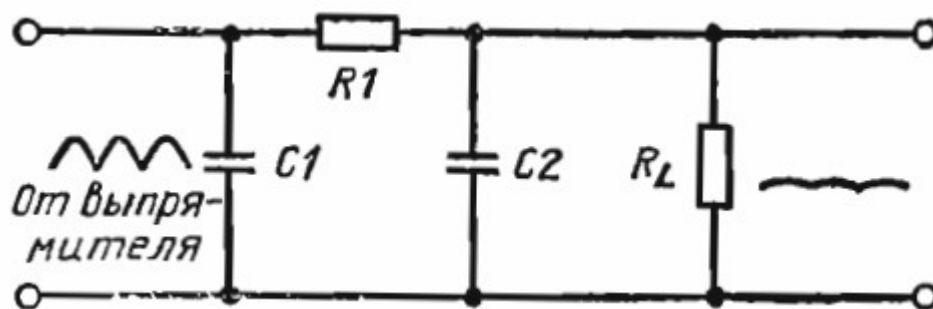


Рис. 6

Выбор фильтров в каждом конкретном случае - это не простая проблема, но вы должны, во всяком случае, понимать их назначение и принципы работы вследствие того, что они во многом определяют правильность работы устройств электропитания.

Лабораторная работа № 6

Исследование свойств параметрического стабилизатора напряжения»

Теоретический материал

Основным параметром стабилизатора напряжения, по которому оценивают его качество работы, является коэффициент стабилизации

$$K_{стU} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) / (\Delta U_{вых} / U_{вых})$$

Простейшим стабилизатором напряжения является параметрический, схема которого представлена на рис. 6.

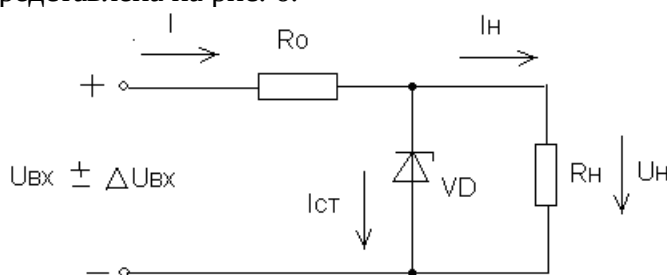


Рис. 6. Параметрический стабилизатор напряжения без термокомпенсации

Расчет параметрического стабилизатора обычно сводится к расчету сопротивления балластного резистора $R0$ и выбору типа стабилитрона.

Основными электрическими параметрами стабилитрона являются

$U_{ст}$ – напряжение стабилизации

$I_{ст.макс}$ - максимальный ток стабилитрона на рабочем участке вольт-амперной характеристики

$I_{ст.мин}$ - минимальный ток стабилитрона на рабочем участке вольт-амперной

характеристики

R_d - дифференциальное сопротивление на рабочем участке вольт-амперной характеристики

Методику расчета рассмотрим на примере:

Дано: $U_{вых} = 9 \text{ В}$; $I_n = 10 \text{ мА}$; $\Delta I_n = \pm 2 \text{ мА}$; $\Delta U_{вх} = \pm 10\% U_{вх}$

Порядок расчета:

1). По справочнику выбираем стабилитрон типа Д814Б с параметрами:

$U_{ст} = 9 \text{ В}$; $I_{ст.макс} = 36 \text{ мА}$; $I_{ст.мин} = 3 \text{ мА}$; $R_d = 10 \text{ Ом}$

2). Рассчитаем необходимое входное напряжение, определяемое по формуле

$$U_{вх} = n_{ст} U_{вых}$$

Где $n_{ст}$ - коэффициент передачи стабилизатора

Для оптимальных условий работы стабилизатора рекомендуется выбирать $n_{ст}$ в пределах от 1,4 до 2.

Примем $n_{ст} = 1,6$ тогда

$$U_{вх} = 1,6 \cdot 9 = 14,4 \text{ В}$$

3). Рассчитаем сопротивление балластного резистора R_o

$$R_o = (U_{вх} - U_{вых}) / (I_{ст} + I_n)$$

Ток $I_{ст}$ выбирают из следующих соображений: $I_{ст} \geq I_n$.

При одновременном изменении $U_{вх}$ на величину $\Delta U_{вх}$ и I_n на величину ΔI_n ток стабилитрона не должен выходить за пределы $I_{ст.макс}$ и $I_{ст.мин}$.

По этой причине обычно выбирают $I_{ст}$ из середины диапазона допустимых значений.

Принимаем $I_{ст} = 15 \text{ мА}$

$$\text{Тогда } R_o = (14,4 - 9) / (15 + 10) = 216 \text{ Ом}$$

Выберем стандартное значение сопротивления резистора R_o по параметрическому ряду E24 (см. приложение 1)

Принимаем $R_o = 220 \text{ Ом}$

Для выбора типа резистора необходимо рассчитать рассеиваемую на корпусе резистора мощность

$$P = I^2 R_o; P = (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 220 = 0,138 \text{ Вт}$$

Принимаем стандартное значение мощности рассеяния на резисторе 0,25 Вт

Выбираем тип резистора МЛТ-0,25-220 Ом $\pm 10\%$

4). Произведем проверку правильности выбора режима работы стабилитрона в схеме стабилизатора напряжения

$$I_{ст.мин} = (U_{вх} - \Delta U_{вх} - U_{вых}) / R_o - (I_n + \Delta I_n)$$

$$I_{ст.мин} = (14,4 - 1,44 - 9) \cdot 10^3 / 220 - (10 + 2) = 6 \text{ мА}$$

$$I_{ст.макс} = (U_{вх} + \Delta U_{вх} - U_{вых}) / R_o - (I_n - \Delta I_n)$$

$$I_{ст.макс} = (14,4 + 1,44 - 9) \cdot 10^3 / 220 - (10 - 2) = 23 \text{ мА}$$

Если рассчитанные значения токов $I_{ст.мин}$ и $I_{ст.макс}$ выходят за пределы допустимых значений, то необходимо или выбрать другое значение $I_{ст}$, или изменить сопротивление резистора R_o , или заменить стабилитрон.

5). Коэффициент стабилизации по напряжению для параметрического стабилизатора определяется по формуле

$$K_{ст} = (R_o / R_d + 1) / n_{ст}$$

$$K_{ст} = (220 / 10 + 1) / 1,6 = 14,3$$

6). Выходное сопротивление параметрического стабилизатора напряжения

$$R_{вых} = R_o = 10 \text{ Ом}$$

На рис. 7 представлена схема параметрического стабилизатора напряжения с термостабилизацией.

Для повышения температурной стабильности выходного напряжения в этой схеме последовательно со стабилитроном включены несколько кремниевых диодов. Температурный

коэффициент напряжения (ТКН) диода по знаку противоположен ТКН стабилитрона, однако меньше по модулю. Поэтому для температурной компенсации $U_{ст}$ требуется несколько диодов. Кремниевые стабилитроны, включенные в прямом направлении, также могут быть использованы для термостабилизации. Количество термостабилизирующих элементов по отношению модуля ТКН стабилитрона к модулю ТКН элемента (диода). Результат деления округляется до целого числа.

Численные значения ТКН стабилитронов и диодов приведены в справочниках. Для кремниевых стабилитронов малой мощности, включенных в прямом направлении, ТКН несущественно отличаются друг от друга для разных типов и находятся в пределах (1,41,7) мВ/°С. Поэтому в расчетах допускается использовать значение из середины этого диапазона.

Расчет такого стабилизатора производится по методике, приведенной выше.

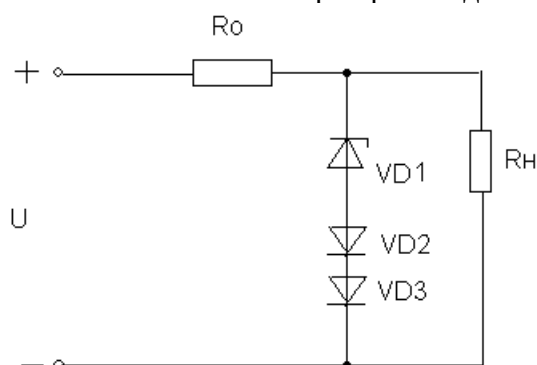


Рис. 7. Параметрический стабилизатор напряжения с термокомпенсацией

Результаты выбора элементов схем оформляются в виде таблицы 1

Таблица 1

Перечень элементов схемы

Обозн- ние	Наименование	Кол- во	Примечание
Диоды выпрямительные			
VD1	КД105В	1	
VD2	КД105В	1	
Конденсаторы			
C1	К50 -15 -160В -100мкФ±10%	1	
Стабилитроны			
VD3	Д817В	1	
VD4	Д817А	1	
Резисторы			
R1	МЛТ-0.125-1.2 кОм ±5%	1	

R2	МЛТ-0.25-270 Ом $\pm 10\%$	1	
----	----------------------------	---	--

Литература

1. Бочаров Л.Н. и др. «Расчет электронных устройств на транзисторах» М.: Энергия, 1978г. – 288с., ил.

2. Изъюрова Г.И. и др. «Расчет электронных схем» М.: Высшая школа, 1987г. – 335с., ил.

Приложение 1

Резисторы общего назначения.

Металлодиэлектрические, типа МЛТ, ОМЛТ, МТ, С2-6, С2-11, С2-23, С2-33 и др.

Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов качестве элементов навесного монтажа. Резисторы имеют цилиндрическую форму с аксиально расположенными выводами, впаянными в контактные колпачки.

Диапазон номинальных сопротивлений указан в таблице П1.1.

Таблица П1.1

Диапазон номинальных сопротивлений

Номинальная мощность, Вт	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом
0,125	$8,2 \dots 3 \cdot 10^6$
0,25	$8,2 \dots 5,1 \cdot 10^6$
0,5	$1,0 \dots 5,1 \cdot 10^6$
1,0	$1,0 \dots 10 \cdot 10^6$
2,0	$1,0 \dots 10 \cdot 10^6$

Промежуточные значения номинальных сопротивлений соответствует параметрическим рядам Е24, Е96.

Значения коэффициентов для ряда Е24 приведены в таблице П1.2.

Таблица П1.2.

Значения коэффициентов для ряда Е24

Индекс ряда	Числовые коэффициенты
Е24	1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 1,1; 1,6; 2,4; 3,6; 5,1; 7,5; 1,2; 1,8; 2,7; 3,9; 5,6; 8,2; 1,3; 2,0; 3,0; 4,3; 6,2; 9,1

Допуск для ряда Е24: $\pm 5\%$; $\pm 10\%$.

Для выбора стандартного значения номинального сопротивления резистора в соответствии с параметрическим рядом (например Е24) необходимо расчетное значение сопротивления разделить или умножить на 10 столько раз, чтобы полученный результат попал в диапазон значений от 1 до 10. Затем необходимо выбрать ближайший числовой коэффициент из таблицы и произвести обратные операции умножения или деления.

Пример условного обозначения: МЛТ-0.25-270 Ом $\pm 10\%$

Приложение 2

1. Конденсаторы с оксидным диэлектриком общего назначения.

Алюминиевые оксидно-электролитические:

К50-3А, К50-3Б, К50-6, К50-7, К50-9, К50-12, К50-15, К50-16, К50-18, К50-20 и т.д.

Предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока. Например, в качестве ёмкостных фильтров в источниках вторичного электропитания. Для отдельных типов этого класса конденсаторов минимальная ёмкость составляет 1мкФ., максимальная 10000мкФ.

Промежуточные значения номинальной ёмкости соответствуют параметрическим рядам Е3 (1,0; 2,2; 7,7); Е6 (1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8).

Номинальные напряжения: 6, 12, 25, 50, 100, 160, 300, 350, 450 В.(для отдельных типов электролитических конденсаторов могут быть указаны другие номинальные напряжения).

Допуск – 20%...+50% (-20%...+80%).

2. Низковольтные низкочастотные конденсаторы с органическим диэлектриком.

Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока.

Металлобумажные: МБГП, МБТТ, МБМ и др.

Номинальные значения ёмкости для МБГО от 0,25 до 30мкФ. Номинальное напряжение 160, 300, 400, 500 и 630В.

Для конденсаторов типа МБМ: ёмкости от 0,01 до 1,0мкФ., напряжение 160, 250, 500, 750В.

Допуск: $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

Полиэтилентерефталатные: К73-5, К73-9 и др.

Для конденсаторов К73-9 номинальные ёмкости лежат в пределах 0,001...0,47мкФ. При напряжении 100В.

Для конденсаторов К73-11 с напряжением 160В номинальные ёмкости лежат в пределах 0,068...6,8мкФ. Допуск: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$.

3. Низковольтные высокочастотные конденсаторы с неорганическим диэлектриком.

Керамические монолитные: К10-17, К10-23 и др.

Предназначены для работ в цепях постоянного, переменного и импульсного тока (с частотой до 10^7 Гц.).

Для конденсаторов типа К10-7-1 с номинальным напряжением 50В., номинальные ёмкости лежат в пределах 2,2...22000пФ.

Для К10-17-2 с напряжением 25В. ёмкости 0,0068...1,5мкФ

Допуски: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ (для отдельных групп –20...+80%).

Номинальные ёмкости конденсаторов соответствуют параметрическим рядам Е3, Е6, Е12.

Пример условного обозначения: К75-10-250В-0,47мкФ $\pm 5\%$.

Приложение 3

Диоды выпрямительные

Тип	Ипр.ср., А.	Uобр.макс., В.	Uпр., В.	Fмакс, кГц
Д104	0,03	100	2,0	150
Д105	0,03	75	2,0	150
КД102А	0,1	250	1,0	5
КД102Б	0,1	300	1,0	5
Д226А	0,3	300	1,0	1
Д237Б	0,3	400	1,0	1
КД105В	0,3	600	1,0	1
КД105Г	0,3	800	1,0	1
Д229А	0,4	200	1,0	1

Д229Б	0,4	400	1,0	1
КД205А	0,5	500	1,0	5
КД205Б	0,5	400	1,0	5
КД205В	0,5	300	1,0	5
КД205Г	0,5	200	1,0	5
Д229К	0,7	300	1,0	1
Д229Л	0,7	400	1,0	1
КД204В	1,0	50	2,0	50
КД208А	1,5	100	1,0	1
КД202А	5,0	50	0,9	5
КД202В	5,0	100	0,9	5
КД202Д	5,0	200	0,9	5
КД202Ж	5,0	300	0,9	5
КД202К	5,0	400	0,9	5
КД202М	5,0	500	0,9	5
КД203А	10	600	1,0	5
КД102А	0,1	250	1,0	5
КД102Б	0,1	300	1,0	5
КД103А	0,1	50	1,0	20
КД103Б	0,1	50	1,5	20
КД226А	1,7	100	1,4	35
КД226Б	1,7	200	1,4	35
КД226В	1,7	400	1,4	35
КД226Г	1,7	600	1,3	35
КД226Д	1,7	800	1,3	35
Д231	10	300	1	1,1

Приложение 4
Стабилитроны общего назначения

Тип	Уст., В.	Іст.мин., мА.	Іст.макс., мА.	Рд
КС133А	3,3	3,0	81	65
КС139А	3,9	3,0	70	60
КС147А	4,7	3,0	58	56
КС156А	5,6	3,0	55	46
КС166А	6,6	3,0	10	20
КС175Ж	7,5	0,5	17	40
Д814А	8,0	3,0	40	6,0
КС182Ж	8,2	0,5	15	40
Д814Б	9,0	3,0	36	10
КС191Ж	9,1	0,5	14	40
КС510А	10	1,0	79	25
Д814Г	11	3,0	29	15
КС512А	12	1,0	67	25
КС213Ж	13	0,5	10	40
КС515А	15	1,0	53	25
КС518А	18	1,0	45	25
КС522А	22	1,0	37	25
КС527А	27	1,0	30	40
КС533А	33	3,0	17	40
КС620А	120	5,0	42	150
КС630А	130	5,0	38	180
КС650	150	2,5	33	255
Д815В	8,2	50	950	1
Д815Г	10	25	800	1,8
Д815Д	12	25	650	2
Д815Ж	18	25	450	3

КС630А	130	5	38	180
КС650А	150	2,5	33	255
КС680А	180	2,5	28	330
Д815Б	6,8	50	1150	0,8
Д815А	5,6	50	1400	0.6
КС433А	3,3	3	191	25
КС439А	3,9	3	176	25
КС468А	6,8	3	119	5
Д816Д	47	10	110	15
Д817А	56	5	90	35
Д817Б	68	5	75	40

Задание

1. Изучить материал
2. Рассчитать параметры параметрического стабилизатора, используя на выбор данные из приложенных таблиц.

Лабораторная работа № 6

Исследование свойств параметрического стабилизатора напряжения

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить схемы и принцип работы параметрического стабилизатора постоянного напряжения.
2. Исследовать основные характеристики стабилизатора.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Стабилизатор является составной частью выпрямительного устройства и служит для поддержания неизменным (в определённом допуске) напряжения на нагрузке, которое может меняться под действием различных дестабилизирующих факторов. Такими факторами могут быть, например, колебания напряжения сети, изменения сопротивления нагрузки.

Качество работы стабилизатора характеризуется следующими числовыми параметрами:

1) коэффициент стабилизации по напряжению

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{BX} / U_{BX.HOM}}{\Delta U_{ВЫХ} / U_{ВЫХ.HOM}}$$

где ΔU_{BX} , $\Delta U_{ВЫХ}$ - абсолютные приращения входного и выходного напряжения стабилизатора соответственно;

2) выходное сопротивление

$$R_{ВЫХ} = \Delta U_{ВЫХ} / \Delta I_H$$

где ΔI_H – абсолютное приращение тока нагрузки.

По способу стабилизации стабилизаторы делятся на параметрические и компенсационные. На рис.1 представлена схема параметрического стабилизатора напряжения.

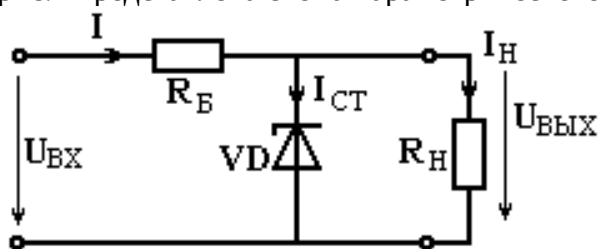


Рис. 1

Основным элементом стабилизатора является полупроводниковый стабилитрон VD . Обратная ветвь вольтамперной характеристики (ВАХ) стабилитрона имеет участок стабилизации, на котором напряжение стабилитрона зависит от тока очень незначительно (рис.2). Учитывая, что стабилитрон имеет нелинейную ВАХ, для описания работы параметрического стабилизатора напряжения можно использовать графические методы анализа нелинейных электрических цепей.

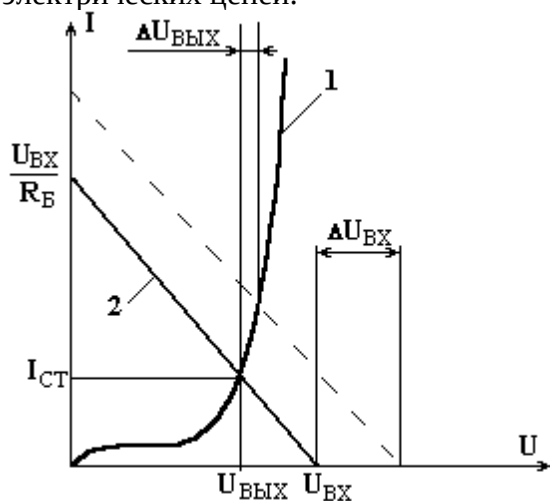


Рис. 2

Рассмотрим работу стабилизатора на холостом ходу, т.е. при $R_H = \infty$ ($I_H = 0$). В этом случае балластный резистор R_B и стабилитрон VD будут соединены последовательно, и данную цепь можно анализировать методом опрокинутой характеристики. На рис.2 представлены ВАХ стабилитрона (кривая 1) и опрокинутая ВАХ резистора R_B (прямая 2).

Точка их пересечения определяет значения напряжения на стабилитроне, равное $U_{ВЫХ}$ и точка $I = I_{СТ}$.

Если, например, входное напряжение $U_{ВХ}$ изменится на некоторую величину $\Delta U_{ВХ}$, то прямая 2 сместится параллельно самой себе и займёт положение, показанное на рис. 2 пунктиром, и выходное напряжение на нагрузке изменится при этом весьма незначительно, т.е. $\Delta U_{ВЫХ} \ll \Delta U_{ВХ}$.

При наличии нагрузки R_H ВАХ параллельного соединения стабилитрона VD и резистора R_H будет несколько отличаться от ВАХ стабилитрона, однако при условии $R_B/R_H < (U_{ВХ} - U_{ВЫХ}) / U_{ВЫХ}$ точка пересечения характеристик будет соответствовать участку стабилизации стабилитрона. Изменение нагрузки очень мало влияет на величину напряжения $U_{ВЫХ}$, поскольку, например, увеличение тока нагрузки I_H компенсируется уменьшением тока стабилитрона $I_{СТ}$.

Сопротивление балластного резистора R_B выбирается так, чтобы обеспечить значение тока стабилитрона $I_{СТ}$, соответствующее номинальной величине $I_{СТ.НОМ}$, указанной в паспорте для данного типа стабилитрона.

Возможности регулирования выходного напряжения у параметрического стабилизатора отсутствуют.

Коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора относительно невелик и составляет 20 ... 50.

Выходное сопротивление параметрического стабилизатора определяется дифференциальным сопротивлением стабилитрона на участке стабилизации и может находиться в диапазоне от долей Ома до десятков Ом.

Важными графическими характеристиками, отражающими работу стабилизаторов напряжения являются:

1. зависимость выходного напряжения от входного $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$;
2. внешняя характеристика $U_{ВЫХ} = f(I_H)$ при $U_{ВХ} = \text{const}$.

Зависимость $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ имеет вид, представленный на рис.4.

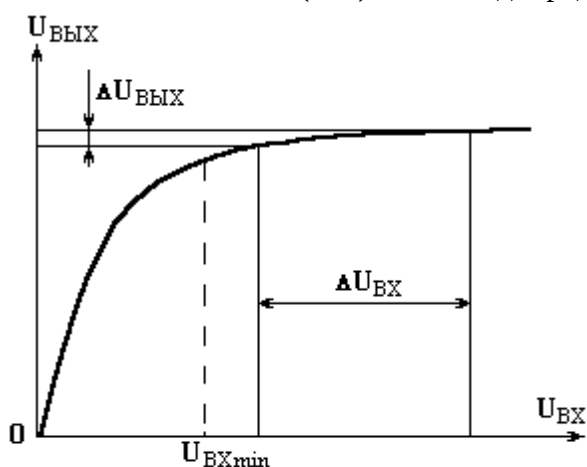


Рис. 4

Для обеспечения требуемого значения напряжения $U_{ВЫХ}$ на нагрузке, подключённой к выходу стабилизатора, необходимо, чтобы входное напряжение было не менее некоторого минимального значения $U_{ВХmin}$, которое в свою очередь должно превышать $U_{ВЫХ}$. При условии, что $U_{ВХ} > U_{ВХmin}$, изменение входного напряжения $\Delta U_{ВХ}$ приведёт к весьма незначительному изменению выходного напряжения $\Delta U_{ВЫХ}$. Наклон данной характеристики на рабочем участке определяется величиной коэффициента стабилизации $K_{СТ}$.

Внешняя характеристика стабилизатора $U_{ВЫХ} = f(I_H)$ при $U_{ВХ} = \text{const}$ (рис.5) показывает, что при увеличении тока нагрузки I_H происходит некоторое снижение напряжения $U_{ВЫХ}$. Это обусловлено отличием от нуля выходного сопротивления стабилизатора.

Чем больше выходное сопротивление стабилизатора $R_{ВЫХ}$, тем более крутым будет наклон внешней характеристики.

Снижение напряжения на выходе при росте тока нагрузки I_H в компенсационных стабилизаторах значительно менее выражено, чем в параметрических, что достигается наличием отрицательной обратной связи.

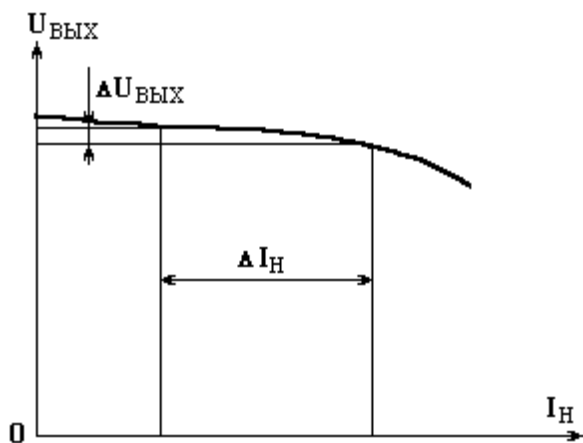


Рис. 5

ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются параметрический и компенсационный стабилизаторы напряжения, собранные на плате №3. Параметрический стабилизатор включает в себя стабилитрон VD6 и балластный резистор R1. Компенсационный стабилизатор содержит в качестве регулирующего элемента транзистор VT1, усилитель VA1, делитель напряжения R2-R3. Нагрузкой служит переменный резистор R_H .

Для измерения тока и напряжений используются многопредельный стрелочный амперметр и электронный вольтметр.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилитрона от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.

Соберите цепь согласно схеме (рис. 6).

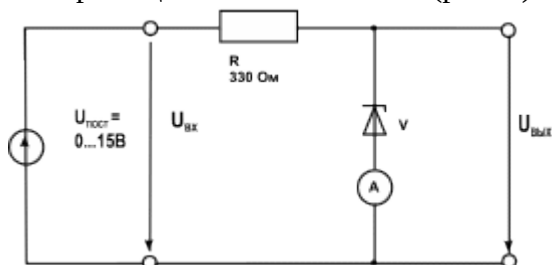


Рис. 6

Устанавливая последовательно величины входного напряжения постоянного тока по табл. 1, измерьте соответствующие выходные напряжения и токи стабилитрона посредством мультиметров. Результаты занесите в таблицу.

Таблица 1

$U_{ВХ}$, В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{ВЫХ}$, В																
$I_{СТ}$, мА																

Постройте на графике (рис. 7) кривую зависимости выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ от входного $U_{ВХ}$.

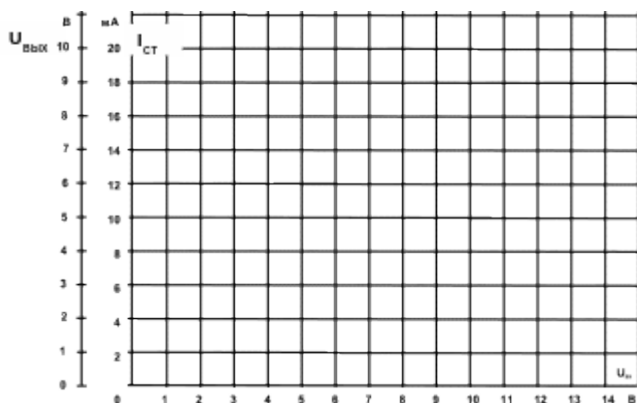


Рис. 7

2. Исследовать влияние тока нагрузки I_H на величину тока стабилитрона.

Соберите цепь согласно схеме (рис. 8), и устанавливая последовательно сопротивления нагрузки 10; 4,7; 2,2; 1; 0,68; 0,47 кОм, измерьте посредством мультиметра соответствующие значения токов $I_{СТ}$ и I_H и занесите их в табл. 2.

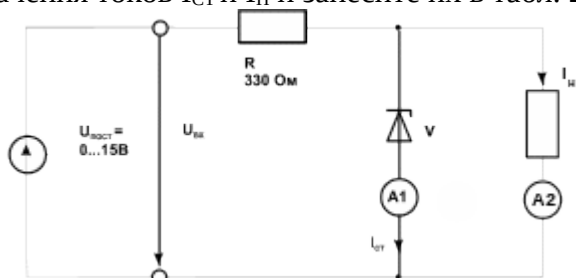


Рис. 8

Таблица 2

R_H , кОм	10	4,7	2,2	1,0	0,68	0,47
I_H , мА						
$I_{СТ}$, мА						

Постройте на графике (рис. 9) кривую зависимости тока $I_{СТ}$ от тока нагрузки I_H .

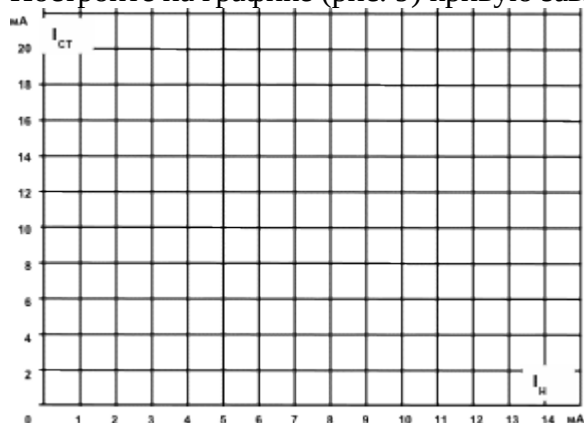


Рис. 9

1. Согласовать результаты с преподавателем, отключить приборы и разобрать электрическую цепь.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните назначение стабилизаторов постоянного напряжения.

Номер	E_n , В	$E_{02}(U_n)$, В	$I_0(I_n)$, А	ΔU_n , мВ
-------	-----------	-------------------	----------------	-------------------

1. Какими параметрами характеризуют качество работы стабилизаторов постоянного напряжения?
2. Как классифицируются стабилизаторы напряжения?
3. Укажите особенности ВАХ полупроводникового стабилитрона.
4. Опишите принцип действия параметрического стабилизатора.
5. Опишите принцип действия компенсационного стабилизатора.
6. Поясните характер зависимостей $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ при $I_{\text{Н}} = 0$ для параметрического и компенсационного стабилизаторов.
7. Поясните вид внешней характеристики $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{Н}})$ для параметрического и компенсационного стабилизаторов.
8. Дайте сравнительный анализ параметрического и компенсационного стабилизаторов постоянного напряжения.

Лабораторная работа № 8

«Расчет двухтактного преобразователя напряжения»

Цель работы: научиться рассчитывать преобразователь постоянного напряжения на транзисторах.

Задание:

1. Зарисовать схему двухтактного преобразователя напряжений на транзисторах.
2. Пояснить назначение ППН.
3. Выписать исходные данные в соответствии с заданным вариантом.

Таблица 1 – Исходные данные

4. Выполнить расчет ППН.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Методические указания по выполнению

1. Приведем схему двухтактного преобразователя на транзисторах и обозначим на схеме все элементы (см.рис.1).

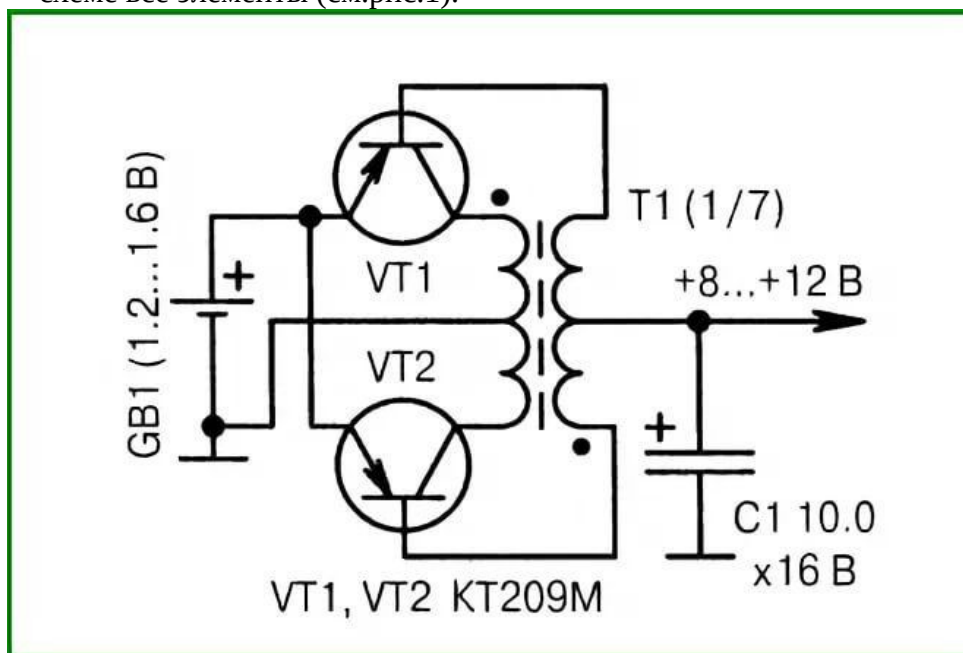


Рисунок 1 – Схема ППН

2. Для выбора транзисторов и диодов будем использовать следующие данные:
 - допустимый прямой ток диодов выпрямителя должен быть больше 10А (I_0), допустимый средний ток – больше 5А ($I_0/2$), обратное напряжение $U_{обр}$ – больше $2U_H$. $U_{обр} = 2 \cdot 6,3 = 12,6В$;
 - коллекторный ток транзисторов в насыщенном состоянии $I_{кн}$ должен быть $I_{кн} = I_0 \cdot U_H / E_{п} = 10 \cdot 6,3 / 36 = 1,75А$, допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ – больше $2E_{п} = 72 В$.
3. Выберем в качестве вентилей выпрямителя [см.справочник] диоды 2Д213А у которых $I_{пр} = 10 А$; $E_{обр} = 200 В$; $\tau_d = 0,3 мкс$; $U_{пр} = 1 В$. Из вольт-амперных характеристик диода 2Д213А находим $E_{пор} = 0,6 В$; $r_v = 0,04 Ом$.
4. Выберем для инвертора транзисторы типа КТ903А [1], имеющие $I_k = 3 А$; $U_{кн} = 1 В$; $I_{б max} = 0,6 А$; $U_{кэ} = 80 В$; $U_{б max} = 1,5В$; $H_{21Э} = 15 \div 70$ при $I_k = 3 А$; $U_{бн} = 1 В$; $\tau_t = 0,06 мкс$; $P_k = 30 Вт$; с теплоотводом и $r_{тпк} = 3,3 ^\circ C/Вт$.
5. ЭДС одной из вторичных полуобмоток трансформатора: $U_{2 max} = U_H + E_{пор} + I_0 \cdot r_v = 6,3 + 0,6 + 10 \cdot 0,04 = 7,3 В$
6. Напряжение на первичной полуобмотке трансформатора: $E_{1 max} = E_{п} - U_{кн} = 36 - 1 = 35 В$
7. Коэффициент трансформации силового трансформатора: $n = U_{2 max} / E_{1 max} = 7,3 / 35 = 0,208$
8. Уточненное значение тока коллектора транзистора: $I_{кн} = n \cdot I_0 = 0,208 \cdot 10 = 2,08 А$
что меньше допустимого для выбранного транзистора.
9. Разрядка конденсатора выпрямителя через еще не запертые диоды происходит по цепи, содержащей вторичную обмотку трансформатора. Так как первичная обмотка трансформатора в это время разомкнута, то он оказывает току разрядки большое индуктивное сопротивление, а ток разрядки конденсатора (обратный ток диода) крайне мал. Можно считать, что после запираания транзистора инвертора ток диода спадает, стремясь к нулевому значению, т. е:
 $T_{рд} \approx 3\tau_d = 3 \cdot 0,3 = 0,9 мкс$
10. Коммутационные потери мощности при таком режиме запираания диода практически отсутствуют. Поэтому считаем, что:
 $P_d = 0,5(E_{пор} + r_v I_0) I_0 = 0,5(0,6 + 0,04 \cdot 10) \cdot 10 = 5 Вт$
 $P_{тр} = 0,5 U_{кн} \cdot I_{кн} = 0,5 \cdot 1 \cdot 2,08 = 1,04 Вт$
11. Оценим время рассасывания заряда неосновных носителей в базах транзисторов КТ903А (VT1 и VT2):
 $T_{рт} = \tau_t \cdot \ln[3k_{\Phi} / (2k_{\Phi} + 1)] = 0,6 \cdot \ln[3 \cdot 6,73 / (2 \cdot 6,73 + 1)] = 0,02 мкс$
где $k_{\Phi} = I_{б max} \cdot H_{21Э max} / I_{кн} = 0,2 \cdot 70 / 2,08 = 6,73$
12. Считая время задержки равным 0,1 от длительности импульса коллекторного тока полупериода, определим частоту переключения $f = 50 кГц$.
13. В рассчитанном инверторе габаритная мощность силового трансформатора
 $P_{Т габ} = 0,5(2E_1 I_1 + 2E_2 I_2) =$
 $= 0,5 \cdot (2 \cdot 35 \cdot 2,08 \cdot 0,707 + 2 \cdot 7,3 \cdot 10 \cdot 0,707) = 83,2 В \cdot А$
14. Зная мощность трансформатора можно рассчитать сечение сердечника по эмпирической формуле:
 $S_c = P_{габ} / 100$
15. Из таблицы 1 выберем (с запасом) магнитопровод из феррита марки М2000НМ-1 типа К 15х6х20, у которого наружный диаметр составляет 15 мм, внутренний – 6 мм, высота – 20 мм, $S_c = 83,96 мм^2$, где S_c – площадь сечения магнитопровода.

Таблица 1 – Геометрические и эффективные параметры кольцевых сердечников

Типоразмер	D , мм	d , мм	h , мм	Эффективные параметры	
				длина магнитного пути l_e , мм	площадь поперечного сечения A_e , мм ²
K 4 x 2,5 x 1,2	4,0 +0,2	2,5 +0,1	1,2 +0,15	9,84	0,884
K 4 x 2,5 x 1,6	4,0 +0,2	2,5 +0,1	1,6 +0,15	9,84	1,178
K 5 x 3 x 1	5,0 +0,2	3,0 +0,1	1,0 +0,15	12,04	0,978
K 5 x 3 x 1,5	5,0 +0,2	3,0 +0,1	1,5 +0,15	12,04	1,47
K 6 x 3 x 2,4	6,0 +0,2	3,0 +0,1	2,4 +0,15	13,06	3,53
K 7 x 4,0 x 1,5	7,0+0,3	4,0+0,2	1,5+0,15	16,41	2,19
K 7 x 4 x 2	7,0+0,3	4,0+0,2	2,0+0,15	16,41	2,92
K 10 x 6 x 2	10+0,3	6+0,2	2+0,15	24,07	3,91
K 10 x 6 x 3	10+0,3	6+0,2	3+0,15	24,07	5,90
K 10 x 6 x 4,5	10+0,3	6+0,2	4,5+0,25	24,07	8,81
K 10 x 6 x 5	10+0,2	6+0,2	4,5+0,25	24,07	9,63
K 12 x 5 x 5,5	12+0,4	5+0,2	5,5+0,25	23,57	18,07
K 12 x 6 x 4,5	12+0,4	6+0,2	4,5+0,25	26,13	12,97
K 12 x 8 x 3	12+0,4	8+0,3	3+0,15	30,57	5,92
K 12 x 8 x 6	12+0,4	8+0,3	6+0,25	30,57	11,74
K 15 x 6 x 20	15+0,5	6+0,3	20+0,6	28,77	83,96
K 16 x 4 x 2,5	16+0,4	4+0,3	2,5+0,15	23,23	12,81
K 16 x 8 x 6	16+0,4	8+0,3	6+0,25	34,84	23,06
K 16 x 10 x 4,5	16+0,4	10+0,3	4,5+0,25	39,37	13,25
K 16 x 10 x 9	16+0,4	10+0,3	9+0,4	39,37	26,51
K 17 x 6 x 20	17+0,5	6+0,3	20+0,6	30,34	100,6
K 17,5 x 8,2 x 5	17,5+0,4	8,2+0,3	5+0,25	36,75	22,17
K 19 x 6,5 x 20	19+0,7	6,5+0,4	20+1,0	33,28	113,69
K 20 x 10 x 5	20+0,5	10+0,3	5+0,25	43,55	24,02
K 20 x 10 x 7,5	20+0,5	10+0,3	7,5+0,4	43,55	36,02
K 20 x 12 x 4	20+0,5	12+0,4	4+0,25	48,14	15,41
K 20 x 12 x 6	20+0,5	12+0,4	6+0,25	48,14	23,48
K 23 x 10 x 10	23+0,5	10+0,4	10+0,4	46,21	61,28
K 23 x 11 x 15	23+0,7	11+0,5	15+0,5	48,76	85,90
K 23 x 11 x 20	23+0,7	11+0,5	20+1,0	48,76	114,54
K 28 x 16 x 6	28+0,6	16+0,4	6+0,25	65,64	46,14

К 28 x 16 x 9	28+0,6	16+0,4	9+0,4	65,64	52,61
---------------	--------	--------	-------	-------	-------

16. Зададимся плотностью тока в обмотках трансформатора $J = 5 \text{ А/мм}^2$, амплитудой магнитной индукции в магнитопроводе $B_m = 0,12 \text{ Тл}$ (феррит) и коэффициентами заполнения окна медью $\delta = 0,15$ (кольцевой магнитопровод).

17. Найдем число витков во вторичной полуобмотке:

$$W_2 = E_2 \cdot 10^4 / (4 f B_m S_c) = 7,3 \cdot 10^4 / (4 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,12 \cdot 0,84) = 3,6.$$

18. Принимаем $W_2 = 4$. Тогда для первичной полуобмотки:

$$W_1 = W_2 E_1 / E_2 = 4 \cdot 35 / 7,3 = 19.$$

19. Оценим КПД преобразователя. Мощность, потребляемая от источника $E_{п1}$, равна сумме мощностей, выделяющихся на транзисторах VT1 и VT2, трансформаторе и диодах выпрямителя. Таким образом, полная мощность, потребляемая от источника $E_{п2}$, становится равной:

$$P_{\text{пол}} = P_n + P_{\text{тр}} + P_d + P_t = 63 + 2 + 10 + 1,6 = 76,68 \text{ Вт.}$$

где $P_n = U_n \cdot I_0$;

$P_{\text{тр}}$ - потери мощности в силовых транзисторах составляют 2 Вт;

P_d - потери мощности в диодах, $P_d = U_{\text{пр}} \cdot I_0$;

P_t - потери в трансформаторе, складываемые из потерь в стали и меди, $P_t = P_c + P_m = 1,1 + 0,5 = 1,6 \text{ Вт.}$

20. КПД определим по формуле:

$$\eta = P_{\text{пол}} / P_{\text{потр}}$$

где $P_{\text{потр}} = P_n = U_n \cdot I_0 = 6,3 \cdot 10 = 63 \text{ Вт,}$

$$\eta = 63 / 76,6 = 0,822 = 82,2\%$$

Контрольные вопросы:

1. Для чего нужен диодный мост в схеме ППН?
2. Расшифруйте обозначение магнитопровода М2000НМ-1 типа К 15х6х20.
3. В каком случае применяются ППН на тиристорах?

Лабораторная работа № 9

Исследование характеристик тиристора и управляемого выпрямителя

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

- исследование вольтамперной характеристики и определение параметров тиристора;
- получение семейства статических характеристик тиристора;
- исследование работы регулируемого однополупериодного выпрямителя.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

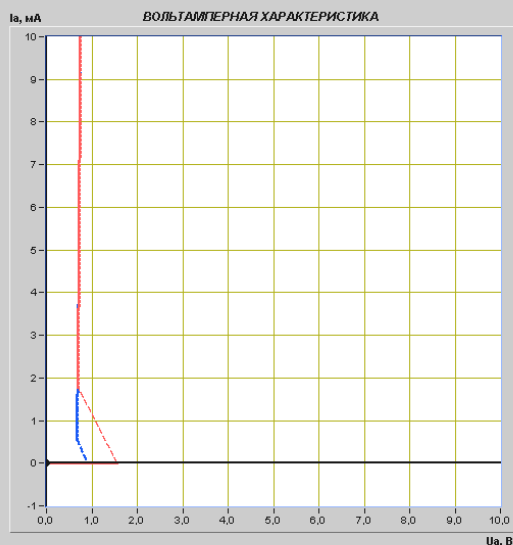
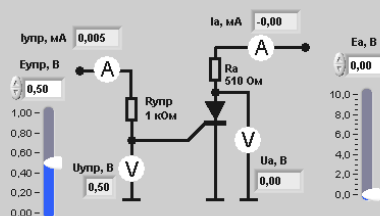
- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **Lab2A** для исследования характеристик тиристора КУ112А и управляемого выпрямителя на его основе.

3. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Задание 1. Исследование вольтамперной характеристики тиристора

ЗАДАНИЕ 1: Исследование вольтамперной характеристики тиристора

- Установить управляющее напряжение $E_{упр}$ равным примерно равным 0,5 В.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения вольтамперной характеристики тиристора.
- Определить диапазон значений управляющего напряжения, в котором отпирание тиристора осуществляется управляющим электродом.



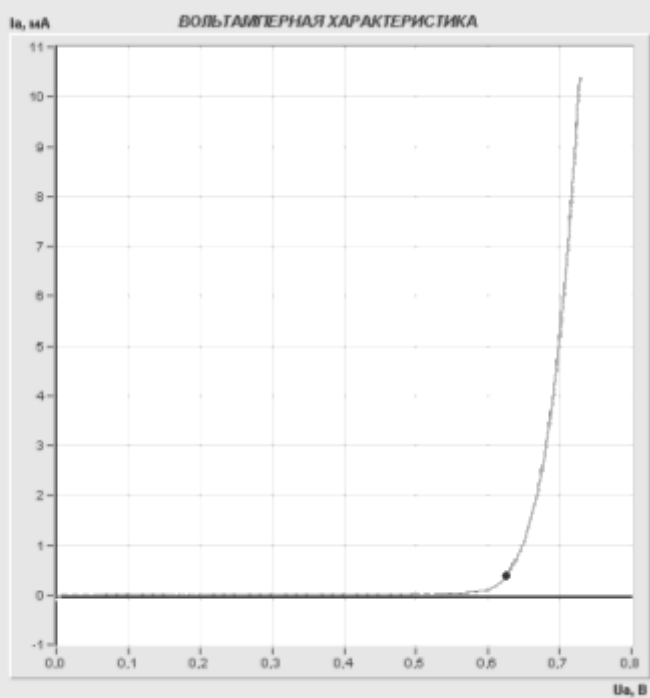
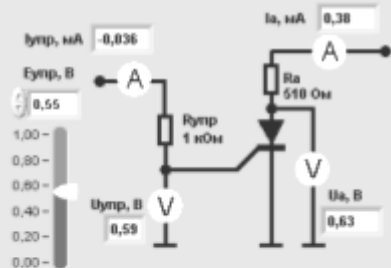
Измерение

Перейти к заданию 2

Линия красного цвета соответствует режиму монотонного увеличения анодного напряжения U_a от 0 В до 10 В, а линия синего цвета - режиму монотонного уменьшения анодного напряжения от 10 В до 0 В при неизменном напряжении управления $E_{упр}$.

ЗАДАНИЕ 1: Исследование вольтамперной характеристики тиристора

- Установить управляющее напряжение $E_{упр}$ равным примерно равным 0,5 В.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения вольтамперной характеристики тиристора.
- Определить диапазон значений управляющего напряжения, в котором отпирание тиристора осуществляется управляющим электродом.



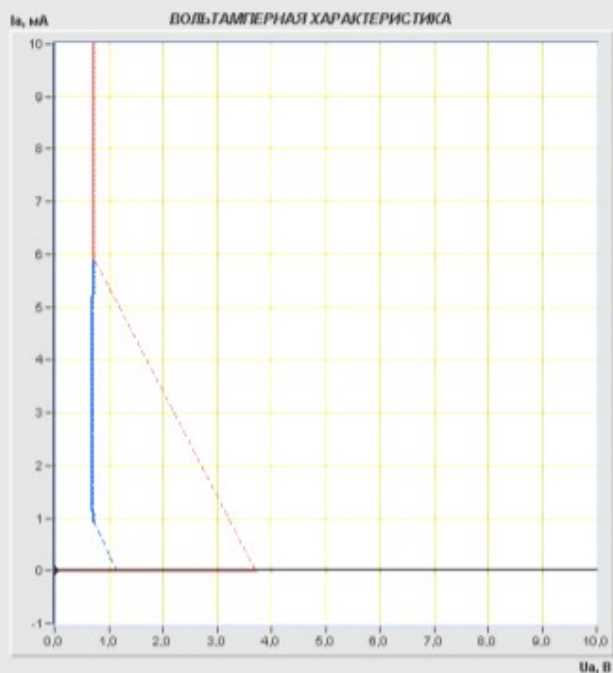
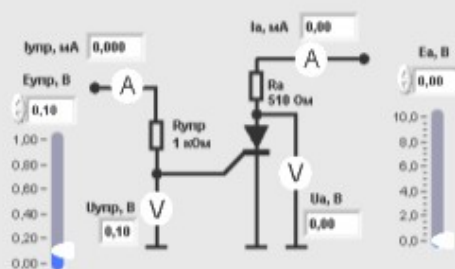
Измерение

Перейти к заданию 2

$E_{упр.max} = 0.55 \text{ В}$. $U_{a.ocr} = 0.73 \text{ В}$.

ЗАДАНИЕ 1: Исследование вольтамперной характеристики тиристора

- Установить управляющее напряжение $E_{упр}$ равным примерно равным 0,5 В.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения вольтамперной характеристики тиристора.
- Определить диапазон значений управляющего напряжения, в котором отпирание тиристора осуществляется управляющим электродом.



Измерение

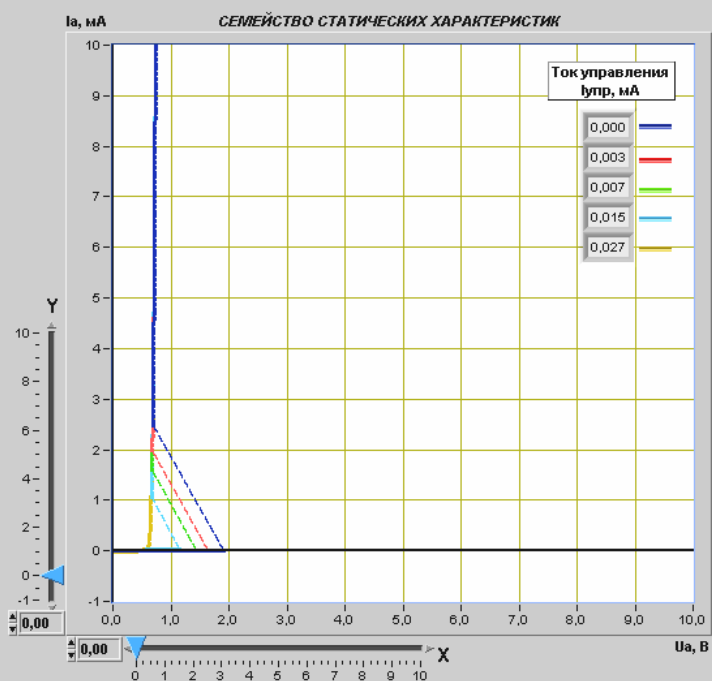
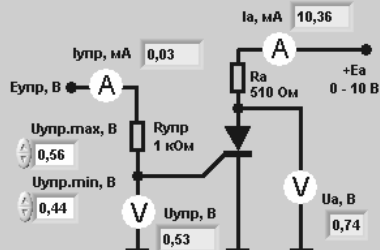
Перейти к заданию 2

$E_{упр.min}=0.1В$. $U_{a.ocr}=0,7В$.

Задание 2. Получение семейства статических характеристик тиристора

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анодного напряжения, при котором происходит включение тиристора.

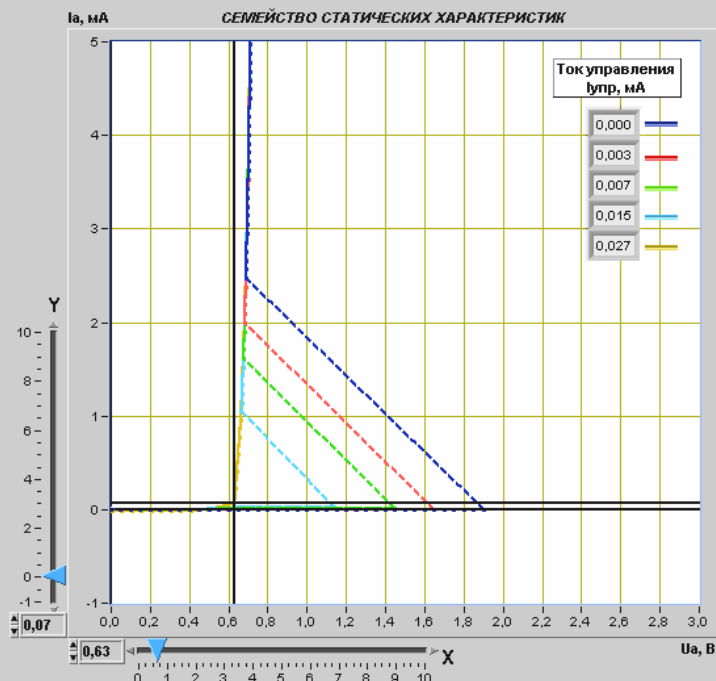
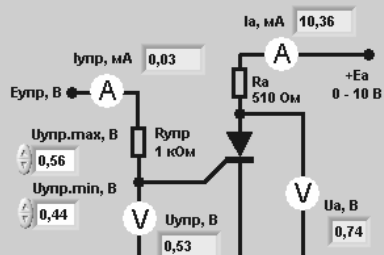


Измерение

Перейти к заданию 3

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анадного напряжения, при котором происходит включение тиристора.



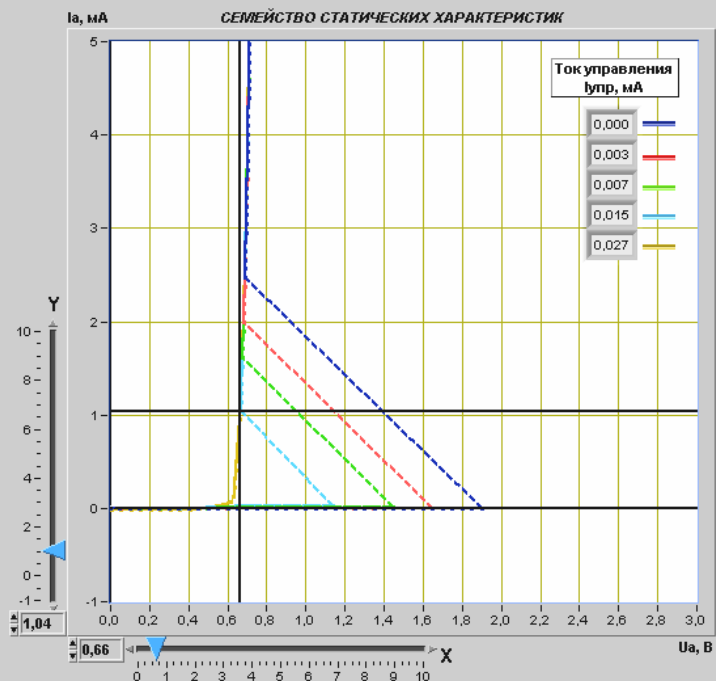
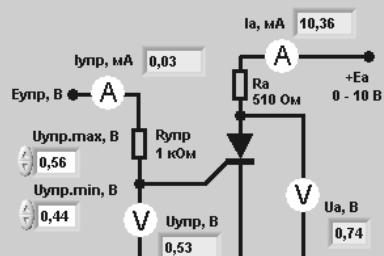
Измерение

[Перейти к заданию 3](#)

$$I_{a.BKJ}=0.07\text{mA. } U_{a.BKJ}=0.63\text{B.}$$

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анодного напряжения, при котором происходит включение тиристора.



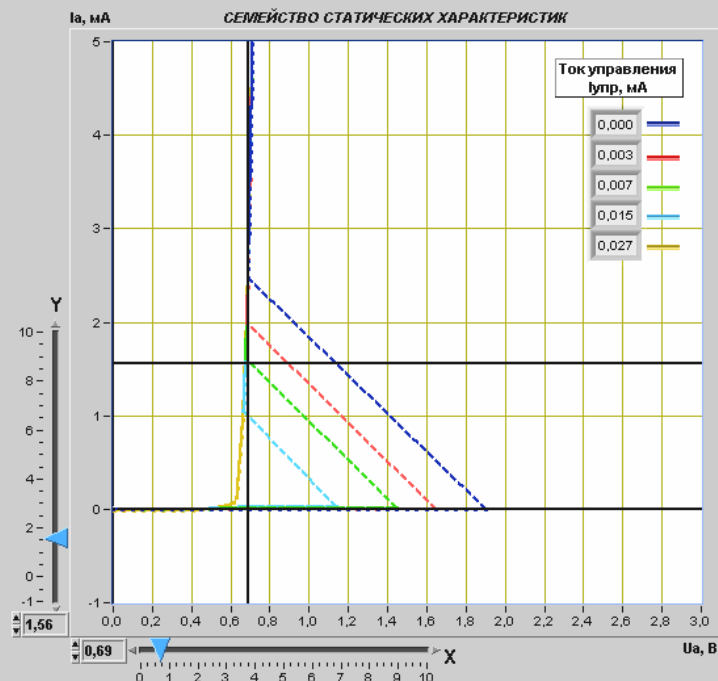
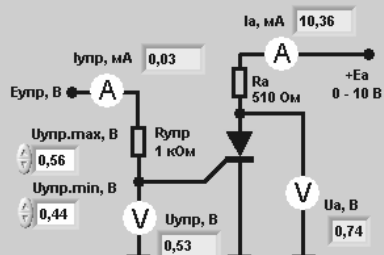
Измерение

[Перейти к заданию 3](#)

$$I_{a.BKЛ}=1.04\text{mA}. U_{a.BKЛ}=0.66\text{B}.$$

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анодного напряжения, при котором происходит включение тиристора.



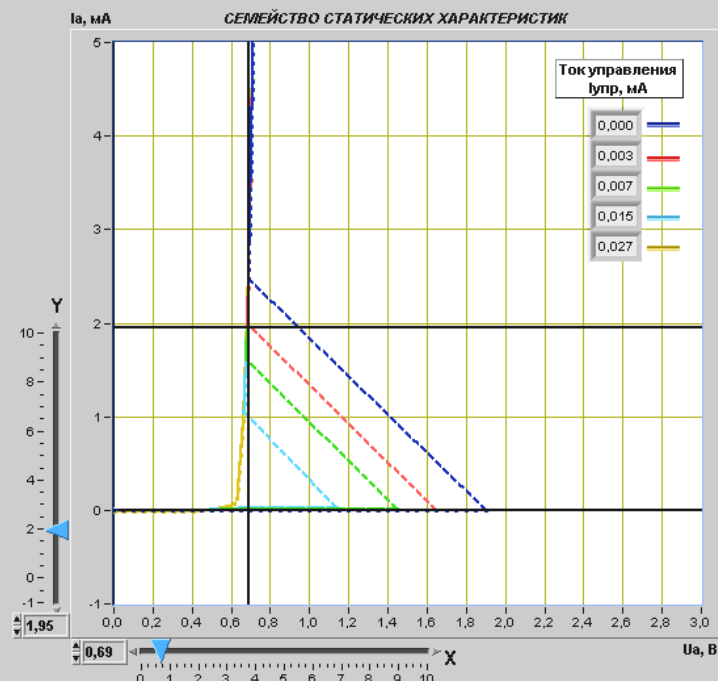
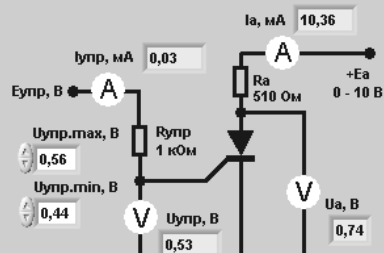
Измерение

Перейти к заданию 3

$I_{a.вкл}=1.56\text{mA}$. $U_{a.вкл}=0.69\text{V}$.

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анодного напряжения, при котором происходит включение тиристора.



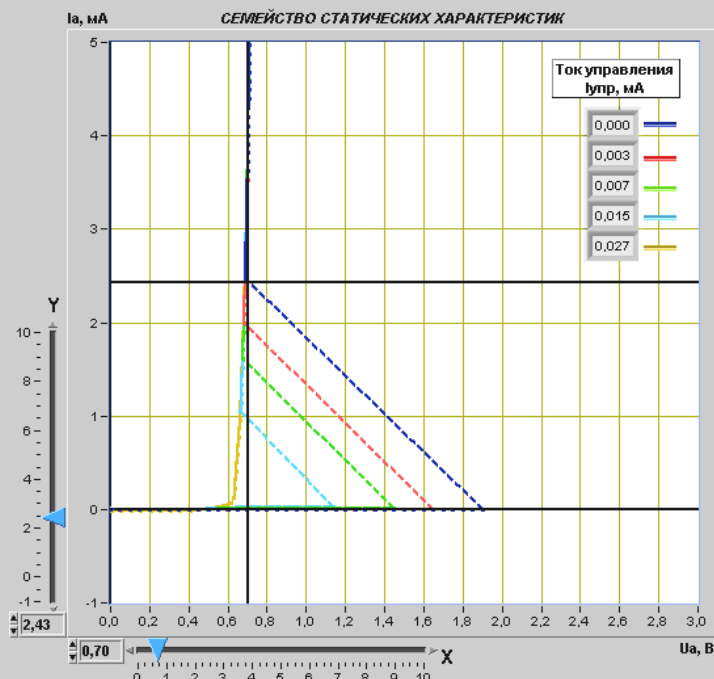
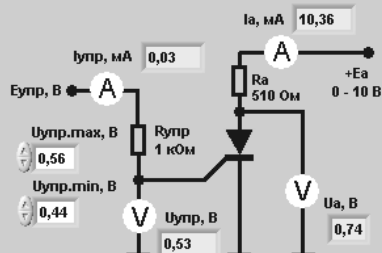
Измерение

Перейти к заданию 3

$I_{a.вкл}=1.95\text{mA}$. $U_{a.вкл}=0.69\text{V}$.

ЗАДАНИЕ 2: Получение семейства статических характеристик тиристора

- Установить граничные значения управляющего напряжения, определенные при выполнении задания 1.
- Нажать кнопку "Измерение" для получения семейства статических характеристик тиристора.
- Определить величины тока управляющего электрода и анодного напряжения, при котором происходит включение тиристора.



Измерение

Перейти к заданию 3

$I_{a, \text{вкл}} = 2.43 \text{ mA}$. $U_{a, \text{вкл}} = 0.7 \text{ V}$.

Задание 3. Исследование работы управляемого однополупериодного выпрямителя

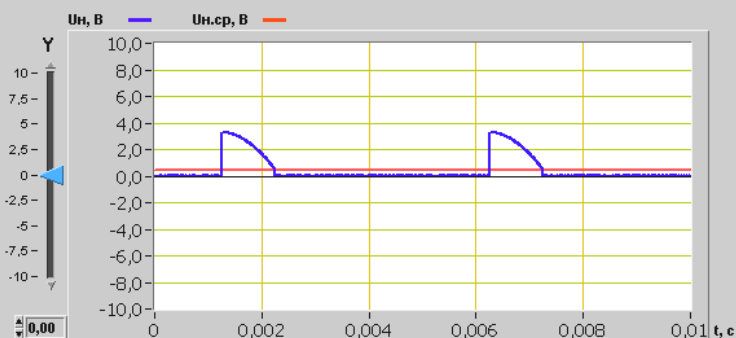
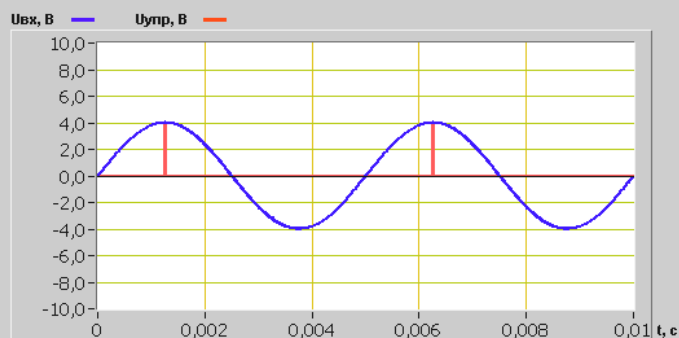
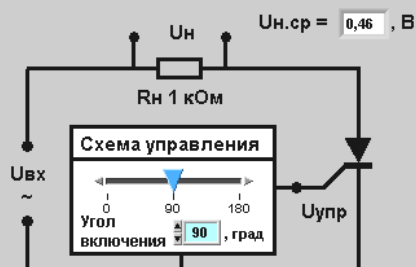
ЗАДАНИЕ 3: Исследование работы управляемого однополупериодного выпрямителя

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ

Форма входного сигнала:

Частота сигнала, Гц:

Амплитуда сигнала, В:



Завершение работы

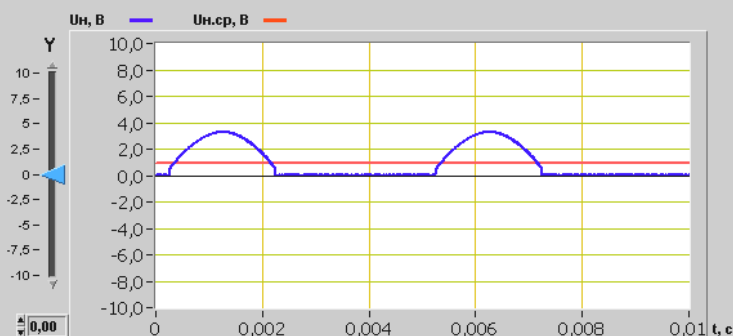
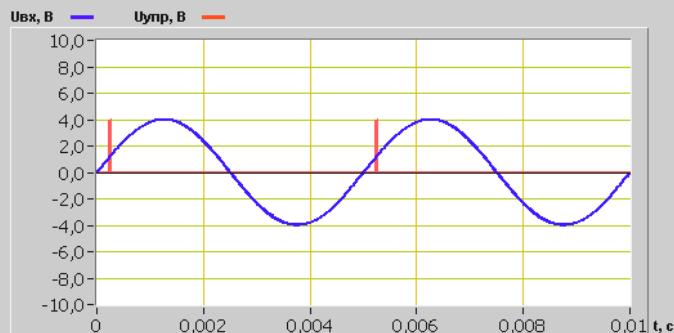
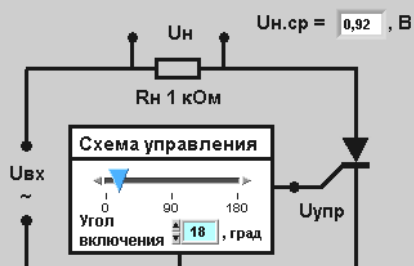
ЗАДАНИЕ 3: Исследование работы управляемого однополупериодного выпрямителя

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ

Форма входного сигнала

Частота сигнала, Гц

Амплитуда сигнала, В



Завершение работы

$\alpha_{\min}=18$ градусов. $U_{H.cp}=0.92$ В.

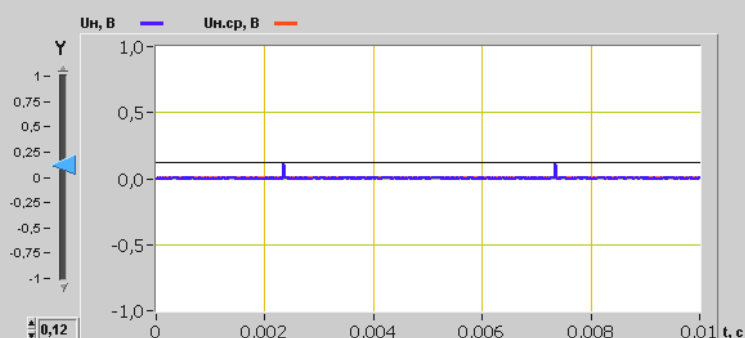
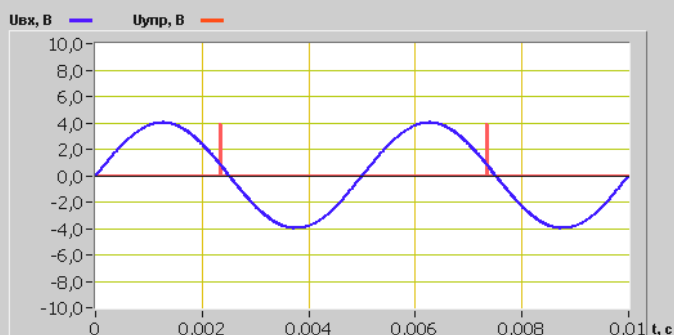
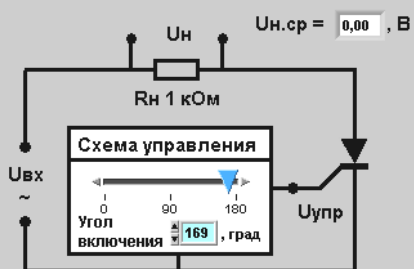
ЗАДАНИЕ 3: Исследование работы управляемого однополупериодного выпрямителя

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ

Форма входного сигнала

Частота сигнала, Гц

Амплитуда сигнала, В



Завершение работы

$\alpha_{\max}=169$ градусов. $U_{H.cp}=0$ В.

4. ВЫВОД

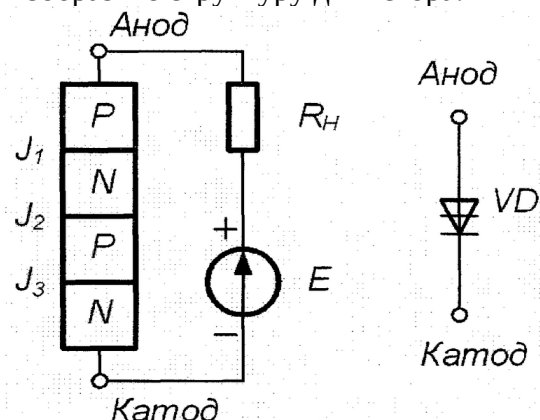
В работе мы занимались исследованием ВАХ и статических характеристик тиристора, а также работы управляемого однополупериодного выпрямителя, построенного на базе тиристора.

$\Delta U = U_{\text{вх.м}} - U_{\text{н.макс}} = 4 - 3,3 = 0,7 \text{ В}$. Значение сопоставимо с величиной $U_{\text{а.ост}}$, полученной в 1 задании.

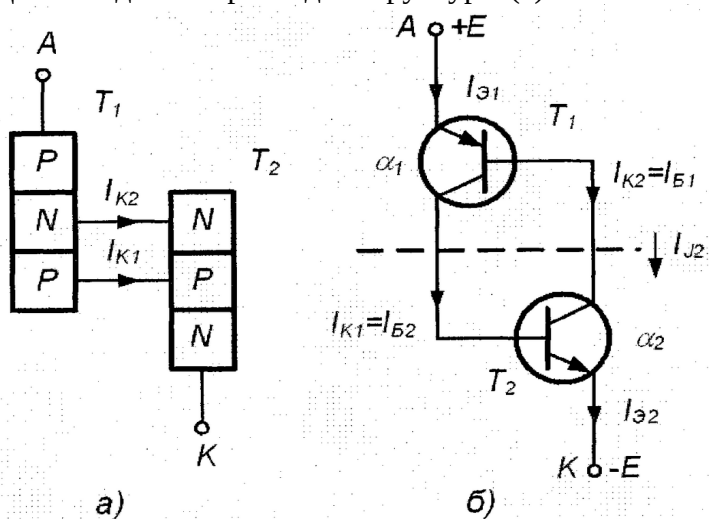
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Какие полупроводниковые приборы называются тиристорами?
Тиристором - полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три (или более) выпрямляющих перехода, который может переключаться из закрытого состояния в открытое, и наоборот.

- 2) Изобразите структуру динистора.



- 3) Нарисуйте транзисторную схему замещения динистора.
Деление динистора на две структуры (а) и схема замещения (б).



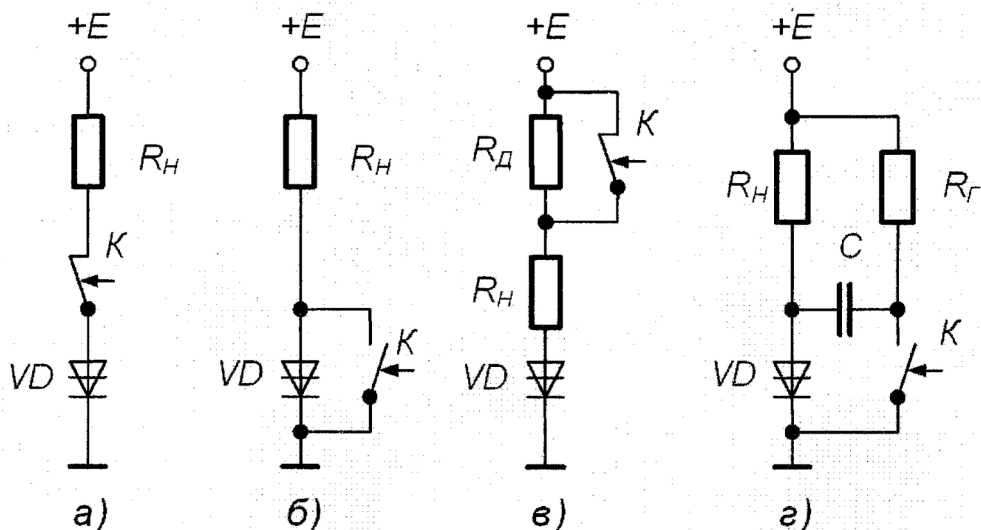
- 4) При каком условии происходит включение динистора?

$$I = \frac{I_{K0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

Пока выполняется условие $(\alpha_1 + \alpha_2) < 1$ ток в динисторе будет равен I_{K0} . При соотношении $(\alpha_1 + \alpha_2) > 1$ динистор включается и начинает проводить ток. Это и есть условие включения динистора.

- 5) Какими способами можно обеспечить выключение динистора?

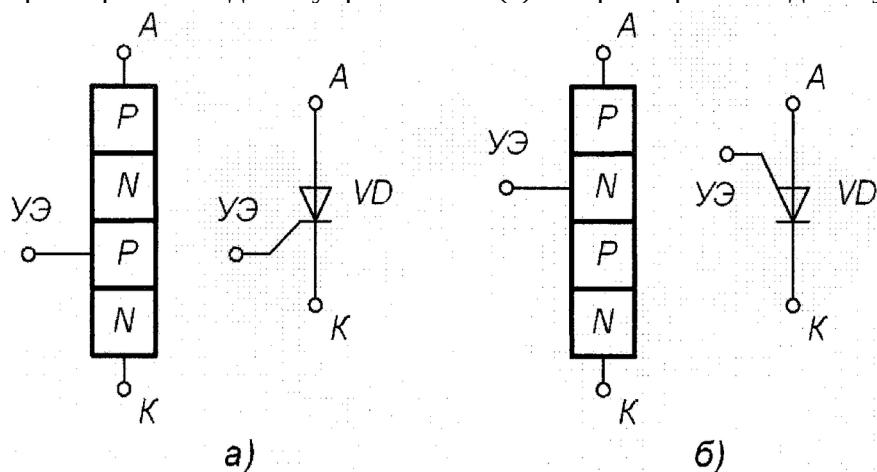
Выключить динистор можно, понизив ток в нем до значения $I_{\text{ВЫКЛ}}$ или поменяв полярность напряжения на аноде. Различные способы выключения динистора приведены на рис. В первой схеме (а) прерывается ток в цепи динистора. Во второй схеме (б) падение напряжения на динисторе уменьшается до нуля. В третьей схеме (в) ток динистора понижается до $I_{\text{ВЫКЛ}}$ включением добавочного резистора R_d . В четвертой схеме (г) при замыкании ключа K на анод динистора подается напряжение противоположной полярности при помощи конденсатора C .



- 6) Чем отличаются конструкции тиристора от динистора?

Тиристор имеет структуру, аналогичную динистору, при этом одна из базовых областей сделана управляющей.

В зависимости от расположения управляющего электрода (УЭ) тиристоры делятся на тиристоры с катодным управлением (а) и тиристоры с анодным управлением (б).



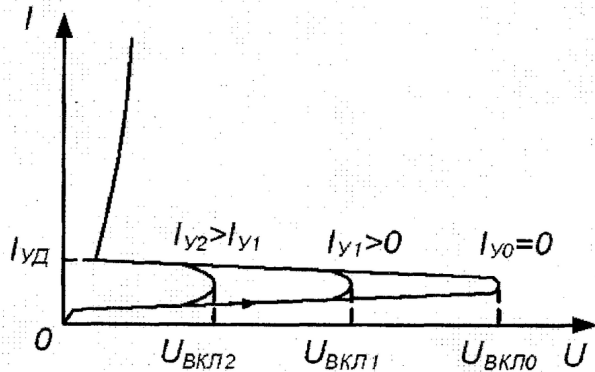
- 7) Какие бывают разновидности тириستоров?

Помимо приведенных в ответе на 6 вопрос существуют также запираемые тиристоры, особенность которых заключается в том, что при подаче сигнала на управляющий электрод тиристор переходит в закрытое состояние. Применение таких тириستоров ограничено из-за того, что ток управляющего электрода в момент выключения приближается по величине к основному коммутируемому току.

- 8) Каковы особенности ВАХ тиристора по сравнению с динистором?

Отличие от динистора состоит в том, что напряжение включения регулируется изменением тока в цепи управляющего электрода. При увеличении тока управления снижается напряжение включения.

Таким образом, тиристор эквивалентен динистору с управляемым напряжением включения.

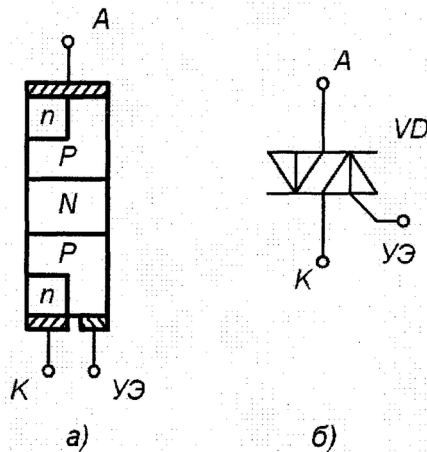


- 9) Существуют ли отличия в способах выключения тиристора и динистора?

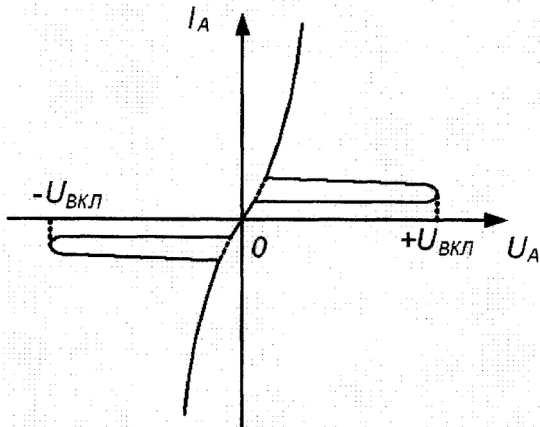
После включения управляющий электрод теряет управляющие свойства и, следовательно, с его помощью выключить тиристор нельзя. Основные схемы выключения тиристора такие же, как и для динистора.

- 10) В чем состоят особенности конструкции и принципа работы симистора?

Симистор - это симметричный тиристор, который предназначен для коммутации в цепях переменного тока. Он может использоваться для создания реверсивных выпрямителей или регуляторов переменного тока. Структура симметричного тиристора приведена на рис. а, а его условное обозначение на рис. б. Полупроводниковая структура симистора содержит пять слоев полупроводников с различным типом проводимостей и имеет более сложную конфигурацию по сравнению с тиристором.



- 11) Как выглядит ВАХ симистора?



Как видно из ВАХ симистора, приведенной на рисунке, прибор включается в любом направлении при подаче на управляющий электрод УЭ положительного импульса управления. Требования к импульсу управления такие же, как и для тиристора. Основные характеристики симистора и система его обозначений такие же, как и для тиристора. Симистор можно заменить двумя встречно-параллельно включенными тиристорами с общим электродом управления.

12) Каков принцип работы управляемого выпрямителя?

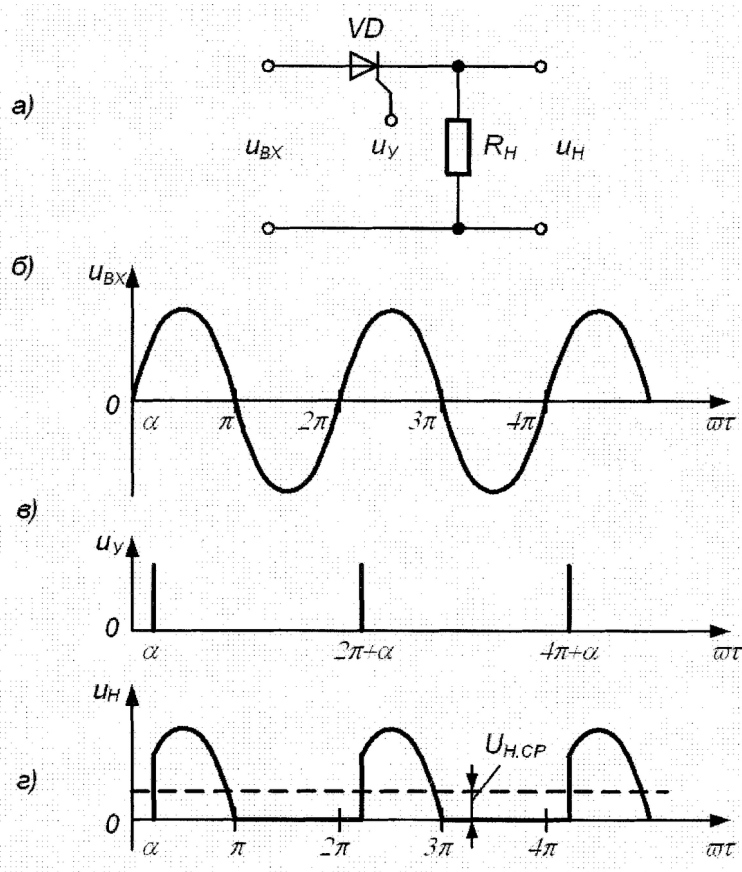
Благодаря возможности управления моментом включения, тиристоры применяются в схемах управляемых выпрямителей.

Простейшая схема регулируемого выпрямителя на одном тиристоре приведена на рис. а. Для включения тиристора необходимо выполнить два условия: напряжение на аноде тиристора должно быть положительным (но не превышающим напряжение $U_{пр.вкл}$) и к управляющему электроду должно быть приложено положительное напряжение, соответствующее отпирающему току. Первое условие выполняется для положительных полуволн напряжения сети $u_{вх}$ (рис. б), а для выполнения второго условия к управляющему электроду тиристора подводится отпирающий импульс u_y (рис. в). После включения тиристора управляющий электрод теряет управляющие свойства, поэтому его выключение произойдет, когда мгновенное напряжение на аноде станет равным нулю.

Форма импульсов напряжения u_n на резистивной нагрузке R_n без фильтра приведена на рис. г. Очевидно, что момент включения тиристора можно регулировать в пределах положительной полуволны напряжения сети, т. е. $0 < \alpha < \pi$, где α - угол сдвига управляющего импульса относительно момента $u_{вх}=0$, называемый углом включения. Таким образом, длительность включенного состояния тиристора определяется выражением:

$$t_u = \frac{T}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right).$$

где T - период колебания входного напряжения $u_{вх}$.



Тогда среднее напряжение на нагрузке будет равно:

$$U_{H,CP} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u_{BX} d(\omega t) = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha).$$

При этом если тиристор включается при $\alpha=0$, то среднее выпрямленное напряжение на нагрузке $U_{H,CP}$ будет максимальным, а если $\alpha=\pi$, то напряжение $U_{H,CP}=0$. Такой способ управления тиристором называется фазоимпульсным.

- 13) Насколько точно определены в работе параметры тиристора? От чего может зависеть качество полученных результатов?
Достаточно точно. Качество может зависеть от соответствия либо несоответствия исследуемых приборов заявленным параметрам и погрешностей, вызванных аппаратной начинкой стенда.

Технические характеристики тиристора КУ112А.

Максимальное обратное напряжение, В	30
Максимальное повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	30
Максимальное среднее за период значение тока в открытом состоянии, А	0.32
Максимальный повторяющийся импульсный ток в открытом состоянии, А	6
Максимальное напряжение в открытом состоянии, В	2.4
Наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора, А	0.00002
Отпирающее напряжение управления, соответствующее минимальному постоянному отпирающему току, В	0.8
Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, В/мкс	10
Время выключения, мкс	6
Рабочая температура, С	-45...85
Особенности	незапираемый

Отпирающее напряжение управления, соответствующее минимальному отпирающему току (измеренное) = 0,63 В (по паспорту 0,8).

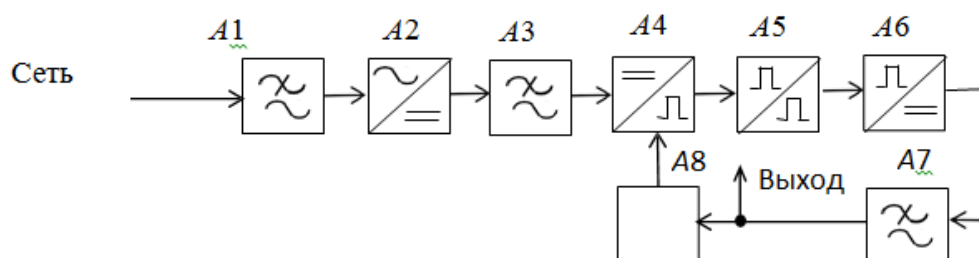
Лабораторная работа №10

Тема: Исследование работы схемы ВУ с бестрансформаторным входом

Цель работы – изучить устройство и принцип действия бестрансформаторных импульсных источников питания. Усвоить методы измерения их основных характеристик. Исследовать экспериментально характеристики и режимы работы бестрансформаторных импульсных источников питания.

Краткие теоретические сведения

Структурная схема типового бестрансформаторного импульсного источника питания изображена на рисунке 21.1.



A1 – сетевой фильтр; A2 – низкочастотный выпрямитель;

A3 – сглаживающий фильтр 1; A4 – инвертор; A5 – высокочастотный трансформатор;

A6 – высокочастотный выпрямитель;

A7 – сглаживающий фильтр 2; A8 – блок управления

Рисунок 1.1 – Структурная схема типового бестрансформаторного импульсного источника питания

Сетевое напряжение поступает на низкочастотный выпрямитель А2 через сетевой фильтр А1, предназначенный для подавления высокочастотных и импульсных помех в сети. Этот фильтр исключает также проникновение помех от инвертора А4 в питающую сеть. Выходное напряжение низкочастотного выпрямителя А2, сглаженное сглаживающим фильтром А3, питает инвертор А4, преобразующий постоянное напряжение в импульсное. Высокочастотный трансформатор А5 масштабирует импульсное напряжение, которое затем выпрямляется высокочастотным выпрямителем А6 и через сглаживающий фильтр 2 А7 поступает на выход источника питания.

Блок управления А8 устанавливает значение и стабилизирует выходное напряжение источника. В блоке управления, как правило, реализуется широтно-импульсный метод стабилизации выходного напряжения. При уменьшении выходного напряжения длительность управляющего импульса на втором входе инвертора возрастает, поэтому энергия, накапливающаяся в первичной обмотке высокочастотного трансформатора А5, также возрастает. Эта энергия передается на выход источника и выходное напряжение возвращается к номинальному значению. При увеличении выходного напряжения процессы проходят в обратном порядке.

Высокочастотный трансформатор А5 обеспечивает гальваническую развязку выходного напряжения источника от сети. Поскольку трансформатор А5 работает на частотах в десятки и сотни килогерц, его масса и габариты на несколько порядков меньше, чем у трансформаторов, работающих на частоте сети, при одинаковой выходной мощности.

Бестрансформаторные импульсные источники питания отличаются друг от друга схемной реализацией отдельных блоков.

Пример принципиальной схемы источника питания компьютера АТ представлен на рисунке 21.2 [4].

Входная цепь источника питания состоит из токоограничительного резистора TR101, предохранителя FU101, сетевого заградительного фильтра синфазных и дифференциальных помех, образованного дросселем L101 и конденсаторами C101, C103, C104. Кроме подавления помех сетевой фильтр выполняет функцию питания при кратковременных сбоях питающего напряжения.

Напряжение первичной электросети через входную цепь поступает на высоковольтный мостовой диодный выпрямитель VD101. Конденсаторы C100, C102 и резисторы R102, R103 – элементы высоковольтного низкочастотного фильтра. Резисторы R102, R103 обеспечивают быстрый разряд конденсаторов C100, C102 после отключения питающей сети.

Высоковольтный инвертор выполнен по схеме полумостового двухтактного усилителя мощности на транзисторах VT101, VT102, соединенных последовательно по постоянному току. Делители напряжения на резисторах R106, R107 и R108, R111 устанавливают режим работы транзисторов с отсечкой тока при отсутствии на входе управляющих импульсов.

Резисторы R109, R110 предназначены для уменьшения пускового тока транзисторов VT101, VT102. Диоды VD102, VD103 защищают транзисторы VT101, VT102 от выбросов напряжения в переходных процессах, а также создают пути частичного возврата энергии, запасенной в выходном импульсном трансформаторе, в источник первичного питания.

Нагрузкой импульсного преобразователя является импульсный трансформатор T102. К первичной обмотке импульсного трансформатора T102 подсоединена демпфирующая цепь на элементах C108, R104, устраняющая паразитные высокочастотные колебания в моменты переключения транзисторов VT101, VT102. Конденсатор C107 устраняет постоянную составляющую тока и уменьшает насыщение сердечника трансформатора T102 при асимметрии намагничивающих токов.

Инвертор работает под управлением импульсов напряжения, поступающих с обмоток управления трансформатора T101. Импульсы напряжения с обмоток управления трансформатора T101 поступают на базы транзисторов VT101, VT102 через форсирующую

цепь на элементах R105, VD104, C109 и R112, VD105, C110 соответственно, обеспечивающую быстрое открывание и закрывание транзисторов в процессе переключения.

При поступлении управляющих импульсов транзисторы VT101 и VT102 поочередно открываются на время действия импульса и попеременно подключают первичную обмотку импульсного трансформатора T102 параллельно конденсатору C100 или конденсатору C102, имеющим противоположные потенциалы. Если баланс циклов открывания и закрывания транзисторов VT101 и VT102 соблюдается, то перемагничивание сердечника трансформатора T102 происходит симметрично. Напряжение в точке соединения конденсаторов C100, C102 в этих условиях сохраняется постоянным на уровне, равном половине напряжения питания. На выходе инвертора формируется последовательность мощных симметричных прямоугольных импульсов противоположной полярности амплитудой порядка 150 В.

Модулированные по длительности импульсы, управляющие работой импульсного преобразователя, генерируются широтно-импульсным модулятором (ШИМ) на микросхеме DA201. ШИМ содержит в своем составе следующие основные узлы: источник опорного напряжения, генератор пилообразного напряжения стабильной амплитуды, схемы сравнения (усилители ошибки), ШИМ-компаратор, компаратор «пауза», логические схемы обработки сигнала, схему предварительного усиления.

На вывод 12 микросхемы DA201 подается напряжение с выхода +12 В источника питания через фильтрующую цепь VD211, R240, C203. ШИМ сохраняет работоспособность при изменении питающего напряжения в диапазоне 7...40 В. При подаче напряжения питания начинают работать источник опорного напряжения и генератор пилообразного напряжения. Опорное напряжение составляет +5 В и выведено на вывод 14 микросхемы DA201.

Рабочий диапазон частот генератора пилообразного напряжения ШИМ, применяемых в импульсных источниках питания, составляет 1...300 кГц. Частота генерации определяется номиналами внешних элементов, присоединяемых к выводам 5, 6 микросхемы, и рассчитывается по формуле

$$f = \frac{1}{R_{216} \cdot C_{207}} \quad (21.1)$$

Максимальное значение пилообразного напряжения составляет 3,2 В. На первый вход схемы сравнения (вывод 2) поступает опорное напряжение с вывода 14 микросхемы DA201 через резистивный делитель R209, R212. На второй вход схемы сравнения (вывод 1) поступает суммарное напряжение выходов

+5 В, +12 В через сумматор на резисторах R222, R223, R225...R228. Полученное разностное напряжение поступает на первый вход ШИМ-компаратора, на второй вход которого подано пилообразное напряжение генератора.

Результирующий дискретный сигнал с выхода ШИМ-компаратора поступает на схемы логической обработки.

После логической обработки результирующего сигнала формируются две параллельные чередующиеся последовательности управляющих импульсов, длительность которых пропорциональна напряжению на выходах источника питания. Частота следования импульсов в каждой из последовательностей в два раза ниже частоты пилообразного напряжения.

Импульсы положительной полярности двух последовательностей разнесены во времени, интервалы их действия не пересекаются.

При колебаниях разностного напряжения, вызванных изменениями нагрузки на выходах источника питания, происходит сдвиг переднего фронта импульсов, в результате чего длительность управляющих импульсов изменяется. При увеличении разностного напряжения длительность управляющих импульсов уменьшается, при уменьшении – увеличивается.

Две последовательности импульсов с выходов ШИМ поступают на каскад управления, построенного по схеме двухтактного усилителя мощности на транзисторах VT201, VT202.

Эмиттеры транзисторов VT201, VT202 объединены, а коллекторной нагрузкой транзисторов являются первичные полуобмотки трансформатора T101. Питание транзисторов VT201, VT202 осуществляется с выхода +12 В через токоограничивающую цепочку R207, VD201. Дiode VD201 предназначен для снижения влияния импульсных сигналов, возникающих в обмотках трансформатора T101, на работу ШИМ по цепи питания.

Делители напряжения на резисторах R206, R205 и R208, R217 формируют начальное смещение в цепи базы транзисторов VT201, VT202 соответственно. Эмиттеры транзисторов VT201, VT202 через два последовательно соединенных диода VD203, VD204 подключены к общему проводу вторичной цепи питания. Параллельно диодам установлен электролитический конденсатор C204. Такое соединение элементов соответствует схеме с общим эмиттером.

При переключениях транзисторов VT201, VT202 в первичных полуобмотках трансформатора T101 протекают противоположные по направлению токи. В результате этого во вторичных обмотках управления трансформатора T101 индуцируются противоположные по знаку импульсные напряжения, управляющие работой транзисторов VT101, VT102 импульсного преобразователя.

Диоды VD202, VD205 уменьшают амплитуду паразитных колебаний, обусловленных индуктивностями обмоток трансформатора T101, в моменты переключения транзисторов.

Выходной высокочастотный выпрямитель предназначен для выпрямления импульсного высокочастотного напряжения и получения на выходе разно- полярных постоянных напряжений ± 5 В и ± 12 В.

Выходной выпрямитель содержит четыре однотипные выпрямительные схемы, попарно соединенные с соответствующими вторичными обмотками импульсного трансформатора T102. Все выпрямители выполнены по двухполупериодной схеме выпрямления со средней точкой.

В выпрямителе выхода +5 В применена диодная сборка VD210, состоящая из двух диодов Шоттки, для уменьшения прямого падения напряжения и времени восстановления обратного сопротивления. В выходах +12 В, -5 В, -12 В используются высокочастотные выпрямительные диоды VD209.1, VD209.2, VD214, VD215, VD212, VD213 соответственно.

Демпфирующие цепочки R241, C211, R242, C212, R243, C213 уменьшают интенсивность импульсных помех, создаваемых источником при работе.

В каждом из выходов применена практически одинаковая схема фильтрации выпрямленного напряжения с помощью LC-фильтров. Фильтр выхода +5 В двухзвенный, включает в себя Г- и П-образные фильтры L201.1, C214, L202, C215. Фильтры выходов +12 В, -5 В, -12 В – однозвенные, Г-образные L201.2, L203, C216, L201.3, L204, C217, L201.4, L205, C218 соответственно.

Непосредственная стабилизация выходного напряжения осуществляется по выходам +5 В и +12 В. Напряжения выходов +5 В, +12 В поступают на резистивный сумматор R222, R223, R225...R228 и оттуда на микросхему DA201. Стабилизация напряжений на выходах -5 В, -12 В осуществляется косвенно через реактор L201, входящий в состав сглаживающего LC-фильтра на выходе высокочастотного выпрямителя.

Реактор L201 содержит четыре обмотки L201.1...L201.4, выполненные на одном магнитопроводе. Благодаря единому магнитопроводу между обмотками реактора L201 существует практически 100%-я магнитная связь. Так, если произойдет увеличение токовой нагрузки на выходах с отрицательным напряжением, это вызовет увеличение потока магнитной индукции в реакторе L201 от обмоток L201.3, L201.4 и увеличение напряжения противоЭДС в обмотках L201.1, L201.2. Произойдет некоторое снижение напряжения на выходах +5 В, +12 В. ШИМ отреагирует на это воздействие увеличением длительности управляющих импульсов. Напряжение на выходах +5 В, +12 В повысится до номинального

значения, повысится также напряжение и на выходах -5 В , -12 В . Резисторы R244...R247 являются нагрузочными для режима холостого хода.

Цепи защиты и контроля предназначены для предотвращения повреждения и выхода из строя источника питания в аварийных режимах и индикации его исправной работы. Защита источника питания срабатывает в следующих аварийных режимах работы:

- чрезмерное увеличение тока через транзисторы импульсного преобразователя;
- короткое замыкание на выходах -5 В , -12 В .

Чрезмерное увеличение тока через транзисторы VT101, VT102 импульсного преобразователя происходит при резком увеличении питающего сетевого напряжения, а также при коротком замыкании на выходах $+5\text{ В}$, $+12\text{ В}$. Защита от чрезмерного тока реализована с помощью маломощного однополупериодного выпрямителя (R202, R203, VD206, C202), питающегося от дополнительной низковольтной обмотки трансформатора T101. Выходное напряжение выпрямителя через резистор R210 подается на вывод 16 ШИМ DA201.

Резкое увеличение тока через транзисторы VT101, VT102 при перегрузках сопровождается резким увеличением импульсного тока через отвод обмотки управления трансформатора T101 и напряжения на дополнительной обмотке. Вследствие этого выходное напряжение однополупериодного выпрямителя повышается и блокирует формирование управляющих импульсов в ШИМ. Работа источника питания возобновляется после устранения перегрузки и повторного включения питающего напряжения.

Защита от коротких замыканий на выходах -5 В , -12 В реализована с помощью цепи R234, R233, R224, R213, VD207, VT203, C209. Питание транзистора VT203 осуществляется опорным напряжением с вывода 14 ШИМ DA201. При исправной работе источника питания транзистор VT203 открыт суммарным отрицательным напряжением на его эмиттере, и на его коллекторе устанавливается низкий уровень напряжения. Если одно из отрицательных напряжений резко уменьшается, то транзистор VT203 закрывается и по цепи R213, VD207, R214 начинает протекать ток большей величины. Увеличение падения напряжения на резисторе R214 вызывает срабатывание компаратора «пауза», уменьшающего длительность управляющих импульсов и соответственно уменьшающего выходное напряжение. Конденсатор C209 позволяет сохранить работоспособность источника питания при кратковременных замыканиях на выходах -5 В , -12 В .

Схема формирователя сигнала «Питание в норме» реализована на триггере Шмитта, собранного на транзисторах VT205, VT206. В установившемся режиме после завершения переходных процессов транзистор VT204 закрыт низким положительным уровнем напряжения на его базе. В закрытом состоянии транзистора VT204 осуществляется заряд конденсатора C210 через резистор R229 с выхода $+5\text{ В}$ источника питания. Спустя некоторое время напряжение заряда на конденсаторе C210 достигает уровня достаточного, чтобы через делитель R238, R239 установить триггер Шмитта в состояние, при котором на коллекторе транзистора VT206 появляется высокий уровень напряжения.

В аварийном режиме источника питания транзистор VT204 открывается положительным напряжением с вывода 3 ШИМ через резистор R231. Конденсатор C210 при этом разряжается через резистор R230 и открытый транзистор VT204. Напряжение на делителе R238, R239 снижается до уровня, при котором в результате срабатывания триггера Шмитта на коллекторе транзистора VT206 устанавливается низкий уровень напряжения. Диод VD206 ускоряет разряд конденсатора задержки C210 при перезапусках источника питания.

Описание лабораторной установки

В работе исследуется бестрансформаторный импульсный источник PC/AT питания системных блоков персональных компьютеров.

Основные параметры импульсного источника AT: выходная мощность – 200 Вт , выходы $+5\text{ В}$, 20 А ; $+12\text{ В}$, 8 А ; -5 В , 500 мА ; -12 В , 500 мА .

В работе исследуются параметры импульсного источника по выходам +5 В, + 12 В.

Функциональная схема лабораторной установки для исследования импульсного источника РС/АТ приведена на рисунке 21.3.

Напряжение сети 230 В частотой 50 Гц через переключатель SA1 «Сеть» и плавкий предохранитель FU1 поступает на вход лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) Т1. Наличие напряжения на лабораторной установке контролируется индикатором HL1.

Выходное напряжение ЛАТРа через переключатель SA2 «Стабилизатор» и миллиамперметр переменного тока РА1 поступает на сетевой фильтр импульсного источника питания. Эффективное значение переменного напряжения, поступающего на источник питания, измеряется вольтметром переменного тока PV1. Выходы +5 В и +12 В источника питания переключателем SA3 «Выход» подсоединяются к нагрузке, в качестве которой используется составной транзисторный каскад, образованный транзисторами VT1...VT3 одного типа проводимости. Резисторы R1...R5 образуют делитель напряжения смещения транзисторного каскада. Изменение тока, потребляемого транзисторами, осуществляется изменением напряжения смещения на базе транзистора VT1 с помощью резистора R1 «Нагрузка». С помощью резисторов R4 и R5 устанавливается максимальный ток нагрузки 2 А на выходах +5 В и +12 В соответственно. Резисторы R6 и R7 – токостабилизирующие.

Значение тока нагрузки измеряется амперметром постоянного тока РА2. Значение напряжения на нагрузке измеряется вольтметром постоянного тока PV2.

Контрольные гнезда XS1...XS7 предназначены для визуального контроля и измерения напряжения на различных участках источника питания посредством осциллографа. При этом на контрольные гнезда выведены следующие контрольные напряжения схемы:

XS1-XS3 – выходное импульсное напряжение ШИМ;

XS2-XS3 – пилообразное напряжение ШИМ;

XS4-XS5 – выходное напряжение импульсного трансформатора;

XS6-XS7 – выходное напряжение на нагрузке.

Задание на исследование

1. Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсного источника.

$$U_H = f(U_{BX})$$

Построить графические зависимости и определить коэффициенты стабилизации по напряжению.

2. Исследовать нагрузочную характеристику импульсного источника. Построить

$$U_H = f(I_H)$$

графические зависимости и определить внутреннее выходное сопротивление.

3. Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке импульсного источника.

4. Зарисовать осциллограммы напряжений и определить параметры импульсов в контрольных точках импульсного источника при различных значениях питающего напряжения и тока нагрузки.

Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами управления и регулирования и с используемыми контрольно- измерительными приборами.

Доложить преподавателю о готовности выполнения работы.

С разрешения преподавателя включить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели. Регулятором ЛАТРа установить номинальное напряжение питания 220 В по вольтметру PV1 на лицевой панели установки. Резистор «НАГРУЗКА» установить на минимальное значение тока нагрузки.

Тумблером «СТАБИЛИЗАТОР» на лицевой панели установки включить импульсный источник.

Включить осциллограф и электронный вольтметр.

Порядок выполнения работы

Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсного источника.

Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». Резистором

«НАГРУЗКА» установить максимальное значение тока нагрузки 2 А по амперметру РА2. К контрольным гнездам XS6-XS7 подсоединить электронный вольтметр.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение в диапазоне 200...240 В с шагом 20 В, контролируя его вольтметром PV1. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить напряжение на нагрузке вольтметром PV2 или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 21.1.

Переключатель «ВЫХОД»	Параметр	Значения параметров		
	$U_{ВХ}$, В	200	220	240
+5В	U_H , В			
	ΔU_H , В			
	K_{CTU}			
+12В	U_H , В			
	ΔU_H , В			
	K_{CTU}			

Таблица 21.1 – Нестабильность выходного напряжения импульсного источника

Повторить изложенные выше операции и измерения при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В». Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 21.1.

По данным таблицы 1.1 построить графические зависимости

$U_H = f(U_{ВХ})$. Рассчитать коэффициенты стабилизации напряжения по формуле

$$K_{CTU} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ}) / (\Delta U_H / U_H), \quad (21.2)$$

где $\Delta U_{ВХ}$, ΔU_H – разность между соседними измеренными значениями входного напряжения и напряжения на нагрузке соответственно.

За номинальное напряжение принимается $U_{ВХ} = 220$ В и соответствующие ему выходные напряжения источника.

Коэффициенты стабилизации определить при понижении и повышении входного напряжения от номинального.

Исследовать нагрузочную характеристику импульсного источника. Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». К контрольным гнездам XS6-XS7 подсоединить электронный вольтметр. Регулятором ЛА-ТРа установить номинальное напряжение питания 220 В по вольтметру PV1.

Резистором «НАГРУЗКА» изменять величину тока нагрузки от минимального до максимального с шагом 0,4...0,6 А, контролируя его значения по амперметру РА2. При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину напряжения на нагрузке вольтметром PV2 или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 21.2.

Таблица 21.2 – Нагрузочная характеристика импульсного источника

Переключатель «ВЫХОД»	Параметр	Значения параметров					$R_{\text{ВЫХ}}$, Ом
+5В	I_H , А	0,1	0,6	1,0	1,6	2,0	
	U_H , В						
+12	I_H , А	0,1	0,6	1,0	1,6	2,0	
	U_H , В						

Повторить изложенные выше операции и измерения при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В». Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 21.2.

По данным таблицы 21.2 построить графические зависимости

$U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее (выходное) сопротивление стабилизаторов напряжения по формуле

$$R_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_H / \Delta I_H, \quad (21.3)$$

где ΔU_H , ΔI_H – разность между соседними измеренными значениями напряжения и тока нагрузки соответственно.

Рассчитанные значения выходного сопротивления занести в соответствующие графы таблицы 21.2.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема лабораторной установки.
3. Таблицы с результатами измерений и расчетов.
4. Графики зависимостей, указанные в подразделе 21.5.
5. Зарисованные осциллограммы в указанных в пункте 21.5.3 контрольных точках.
6. Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

Контрольные вопросы

1. Объясните преимущества и недостатки бестрансформаторных источников питания по сравнению с трансформаторными источниками.
2. Изобразите типовую структурную схему бестрансформаторного источника питания и поясните ее принцип действия.
3. Какие инверторы напряжения используются в бестрансформаторных источниках питания?
4. Чем обусловлена необходимость использования сетевых фильтров в бестрансформаторных источниках питания?
5. Объясните особенности вентилях, используемых в бестрансформаторных источниках.
6. С какой целью в выпрямителях бестрансформаторных источников питания используются реакторы?
7. Какой принцип стабилизации выходного напряжения используется в бестрансформаторных источниках?
8. Как реализуется защита от перегрузок по току в бестрансформаторных источниках?
9. Зачем во входной цепи бестрансформаторных источников используется терморезистор?