

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

621.314(07)
П723

М.В. Гельман, М.М. Дудкин,
Н.М. Сапрунова, О.Г. Терещина

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Учебное пособие к лабораторным работам

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2008

УДК 621.314(076.5)
П723

*Одобрено
учебно-методической комиссией энергетического факультета.*

Рецензенты:
А.Г. Возмилов, Б.Ю. Сидоренко

П723 Преобразовательная техника: учебное пособие к лабораторным работам / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, Н.М. Сапрунова, О.Г. Терещина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 161 с.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, в которых предусмотрено изучение курсов «Преобразовательная техника», «Промышленная электроника», «Энергетическая электроника» и других курсов с близкими названиями. Оно предназначено для студентов энергетического факультета, обучаемых по специальностям: 140604 – «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», 140601 – «Электромеханика» и 140609 – «Электрооборудование летательных аппаратов».

Учебное пособие содержит описание и методику проведения лабораторных работ на автоматизированном лабораторном комплексе в автоматизированном режиме с управлением от компьютера, а также в неавтоматизированном «ручном» режиме. Лабораторные работы позволяют изучить практически все виды полупроводниковых преобразователей электрической энергии, применяемых в настоящее время.

УДК 621.314(07)

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, в которых предусмотрено изучение курсов «Преобразовательная техника», «Промышленная электроника», «Энергетическая электроника» и других курсов с близкими названиями. Оно предназначено для студентов энергетического факультета, обучаемых по специальностям: 140604 – «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», 140601 – «Электромеханика» и 140609 – «Электрооборудование летательных аппаратов».

Основная задача данного цикла лабораторных работ – предоставить студентам возможность практически изучить основные типы устройств преобразовательной техники. Студенты должны приобрести навыки работы с электронными схемами и закрепить материал, изученный теоретически.

Лабораторные работы выполняются на автоматизированном лабораторном комплексе, который может работать в автоматизированном режиме с управлением от компьютера и без управления от компьютера (с «ручным» управлением). В части 1 приведена методика выполнения всех работ с «ручным» управлением. В части 2 приведена методика выполнения наиболее важных и трудоемких работ с управлением от компьютера. Выбор способа управления производится преподавателем в зависимости от подготовки студентов. На данном лабораторном комплексе могут выполняться работы по исследованию силовых полупроводниковых приборов при изучении курса «Физические основы электроники».

Особое внимание при выполнении лабораторных работ уделяется развитию навыков работы с электронным осциллографом и с компьютером в качестве управляющего и регистрирующего устройства.

Для более глубокого изучения материала студенты дома до выполнения лабораторной работы проводят предварительные расчеты и построения. Каждый студент получает индивидуальное задание. Лабораторная работа в значительной степени является проверкой предварительно выполненного задания. При отсутствии домашнего задания выполнение лабораторной работы нецелесообразно.

Для проверки знаний студентов перед лабораторной работой проводится коллоквиум на основе контрольных вопросов, помещенных в пособии.

После выполнения лабораторной работы студенты составляют индивидуальные отчеты. Отчеты содержат как результаты проверки индивидуальных заданий, так и результаты общих экспериментальных исследований.

ЧАСТЬ 1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ БЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ОТ КОМПЬЮТЕРА

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Технические характеристики комплекса

- Электропитание от сети 3×380 В
- Частота питающего напряжения 50 Гц
- Потребляемая мощность, не более 750 ВА
- Габаритные размеры..... 2480×850×450 мм
- Масса, не более 150 кг
- Диапазон рабочих температур +10...35 °С
- Влажность до 80%

Состав комплекса

Комплекс состоит из двух лабораторных столов, в каркасах которых размещаются модули (рис. 1, 2).

Перечень модулей и их краткие технические характеристики приведены в табл. 1 (позиционное обозначение элемента соответствует рис. 1, 2).

Таблица 1

№	Наименование	Краткая техническая характеристика
1	Модуль питания стенда	Ввод 3×380В, ВИП ±15 В, +5 В, автоматический выключатель
2	Модуль питания (трехфазный)	Автоматический выключатель, питание ~3×380 В, ~220 В, =220 В
3	Модуль измеритель мощности	Универсальный цифровой прибор для измерения постоянных и переменных напряжений, токов, мощностей, частоты и энергетических показателей (cosφ, φ)
4	Модуль измерительный	Стрелочные приборы для измерения постоянных и переменных токов в цепях преобразователей
5	Модуль «Мультиметры»	Цифровые приборы (в основном для измерения напряжений)
6	Модуль «Ввод-вывод»	Ввод информации в персональный компьютер и вывод из него
7	Модуль «Тиристорный преобразователь»	Исследование трехфазных выпрямителей, ведомых и реверсивных преобразователей. Напряжение на выходе регулируемое до ±110 В, ток до ±1 А

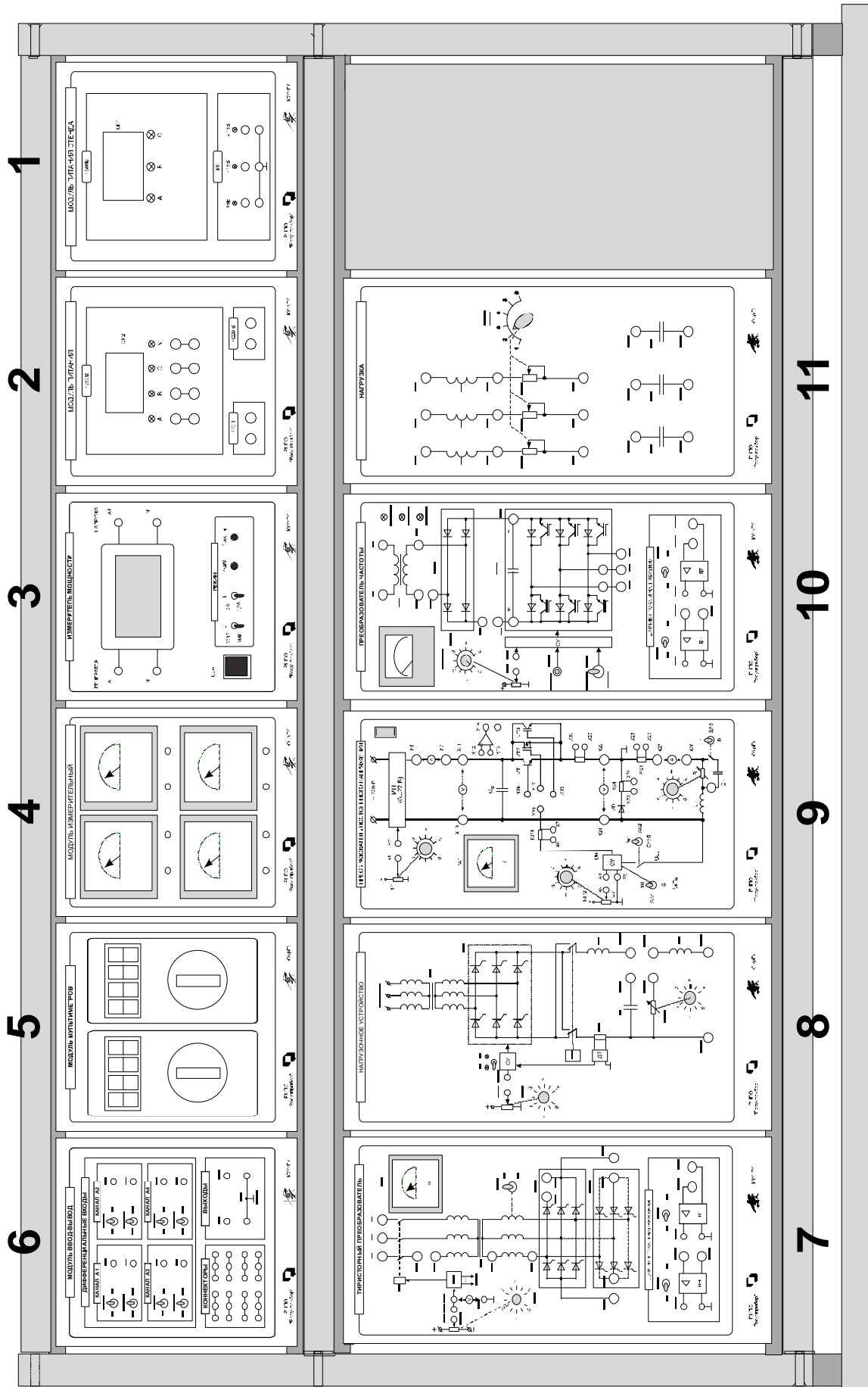


Рис. 1. Общий вид лабораторного комплекса по физическим основам электроники и преобразовательной технике (стол №1)

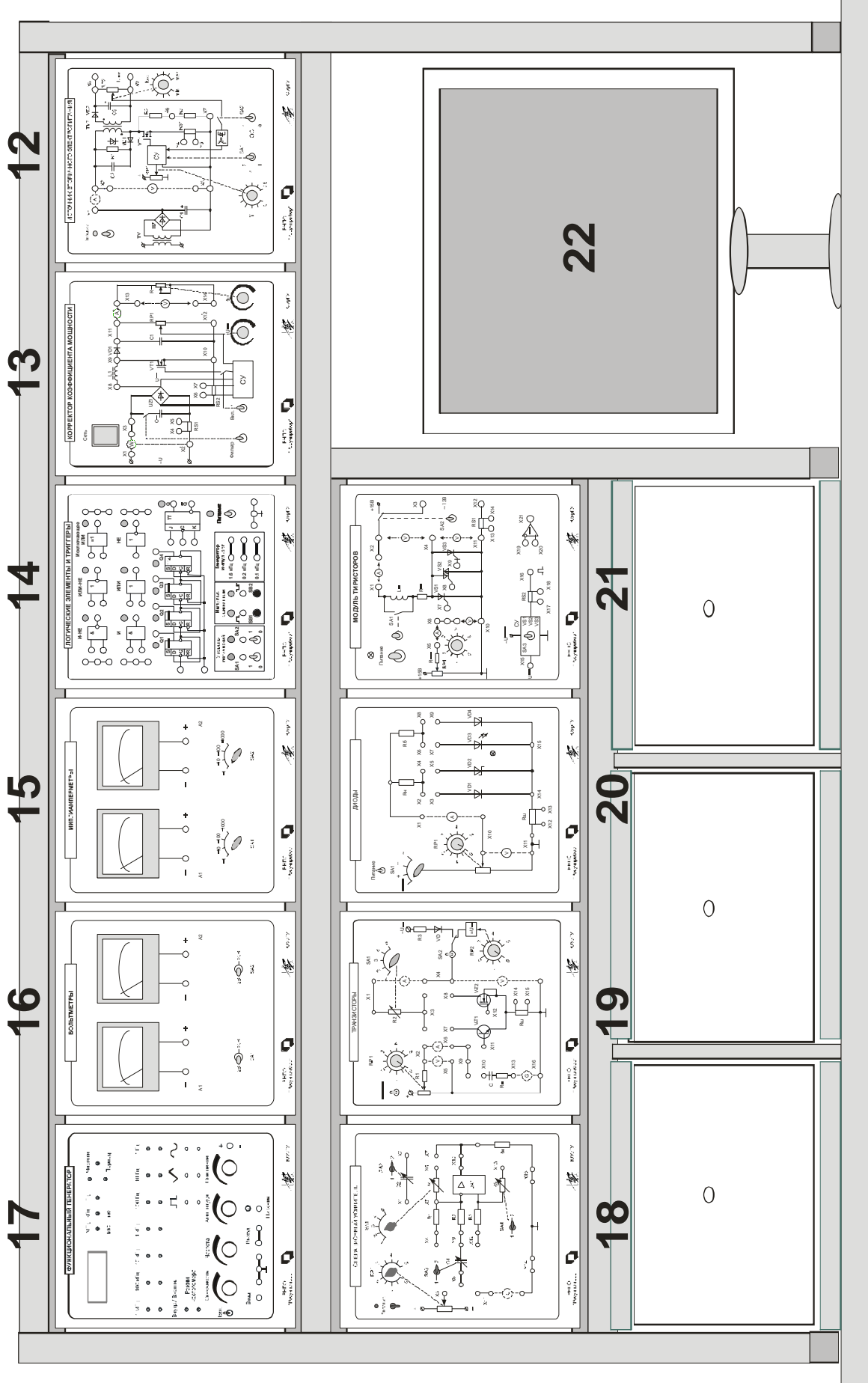


Рис. 2. Общий вид лабораторного комплекса по физическим основам электроники и преобразовательной технике (стол №2)

№	Наименование	Краткая техническая характеристика
8	Модуль «Нагрузочное устройство»	Регулируемая активно-индуктивная нагрузка и активно-индуктивная с противо-ЭДС для модуля «Тиристорный преобразователь»
9	Модуль «Преобразователь постоянного напряжения»	Исследование широтно-импульсного преобразователя и стабилизатора постоянного напряжения, а также ключевого режима транзисторов (биполярных, полевых и IGBT). Напряжение на входе регулируемое до ≈ 27 В, ток до $\approx 1,0$ А
10	Модуль «Преобразователь частоты»	Исследование двухзвенного преобразователя частоты и трехфазного автономного инвертора напряжения. Напряжение на выходе регулируемое трехфазное до ~ 110 В, ток до ~ 1 А, частота до 50 Гц
11	Модуль «Нагрузка»	Дискретно-регулируемая активно-индуктивные нагрузки для модуля «Преобразователь частоты»
12	Модуль «Источник вторичного электропитания»	Изучение характеристик и режимов работы источника вторичного электропитания. Напряжение на входе ≈ 30 В, ток до $\approx 1,0$ А
13	Модуль «Корректор коэффициента мощности»	Изучение характеристик и режимов работы неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр без корректора коэффициента мощности и с корректором коэффициента мощности. Напряжение на входе ~ 16 В, ток до $\sim 2,0$ А
15	Модуль «Миллиамперметры»	Стрелочные приборы для измерения постоянных токов с защитой (диодов, тиристоров)
16	Модуль «Вольтметры»	Стрелочные приборы для измерения постоянных напряжений с защитой (диодов, тиристоров)
20	Модуль «Диоды»	Исследование характеристик диодов, однофазных выпрямителей. Напряжение на входе регулируемое до ± 15 В, ~ 12 В, ток до 100 мА
21	Модуль «Тиристоры»	Исследование тиристоров, симисторов, запираемых тиристоров, управляемого выпрямителя и преобразователя переменного напряжения. Напряжение на входе $+15$ В, ~ 12 В, ток до 100 мА
22	Персональный компьютер со встроенной платой ввода-вывода L-780M	Ввод-вывод аналоговых сигналов, обработка экспериментальных данных. Напряжение ~ 220 В, ток до $\sim 1,5$ А

Описания исследуемых модулей приведены в соответствующих лабораторных работах и техническом описании комплекса. Модули «Логические элементы и триггеры» (14), «Функциональный генератор» (17), «Операционный усилитель»

(18) и «Транзисторы» (19) не используются в цикле лабораторных работ по преобразовательной технике, и поэтому подробно не описываются. Описание модулей, используемых для питания и измерения, приведено ниже.

Модуль питания стенда

Модуль питания стенда (рис. 3) предназначен для ввода трехфазного напряжения ~ 380 В из сети в лабораторный комплекс, защиты комплекса от токов короткого замыкания, а также питания модулей стенда.

Модуль содержит автоматический трехполюсный выключатель $QF1$, а также вторичный источник питания низковольтных цепей модулей напряжениями ± 15 В и $+5$ В.

На лицевой части имеется индикация подачи силового напряжения по фазам A , B и C , а также постоянных напряжений питания $+5$ В, $+15$ В и -15 В. Кроме этого возможны контроль и подача низких постоянных напряжений с лицевой панели (выведены соответствующие гнезда напряжений и общего провода).

Модуль питания

Модуль питания (рис. 4) предназначен для подачи трехфазного напряжения ~ 380 В на исследуемые модули при наборе схемы студентами с помощью соединительных проводов с лицевой стороны модуля, защиты подключенных модулей от токов короткого замыкания.

На лицевой панели модуля расположены автоматический выключатель $QF2$, клеммы трехфазного напряжения A , B , C и нейтрали N (клеммы продублированы), индикация наличия фазных напряжений, клеммы фазного напряжения ~ 220 В.

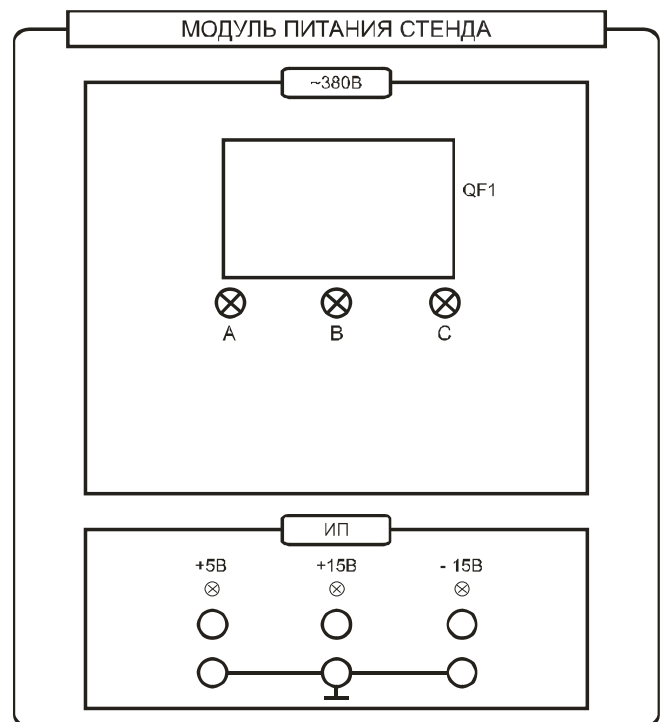


Рис. 3. Лицевая панель модуля питания стенда

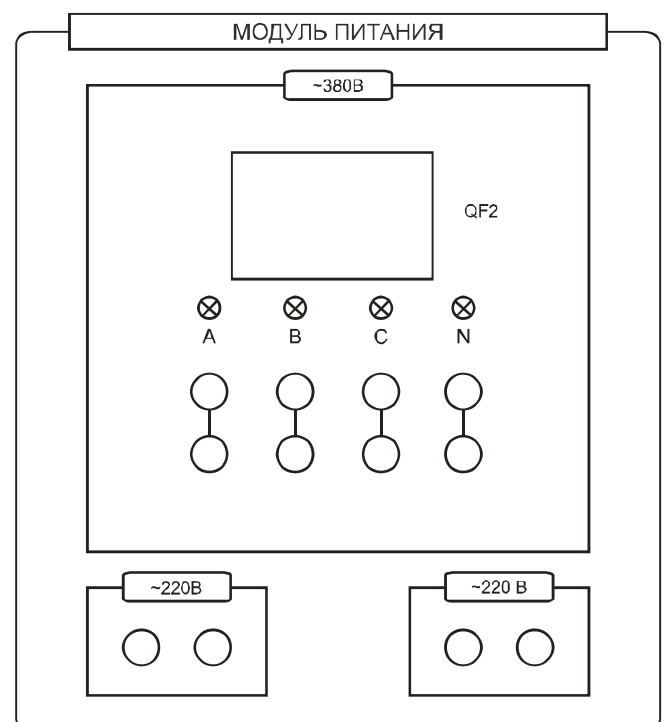


Рис. 4. Лицевая панель модуля питания

Модули «Миллиамперметры» и «Вольтметры»

Измерительный модуль «Миллиамперметры» (рис. 5) позволяет измерить стрелочными приборами магнитоэлектрического типа два тока (приборами А1 и А2). Диапазоны измерений приборов приведены в табл. 2.

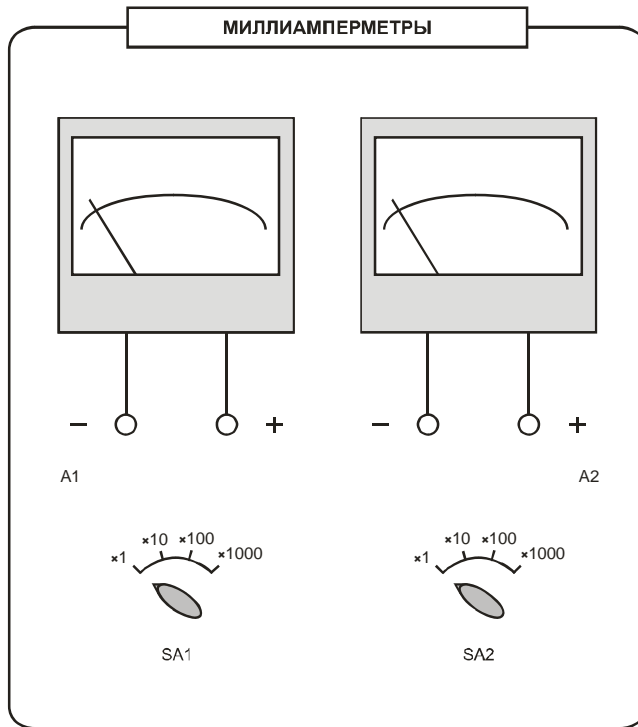


Рис. 5. Лицевая панель модуля «Миллиамперметры»

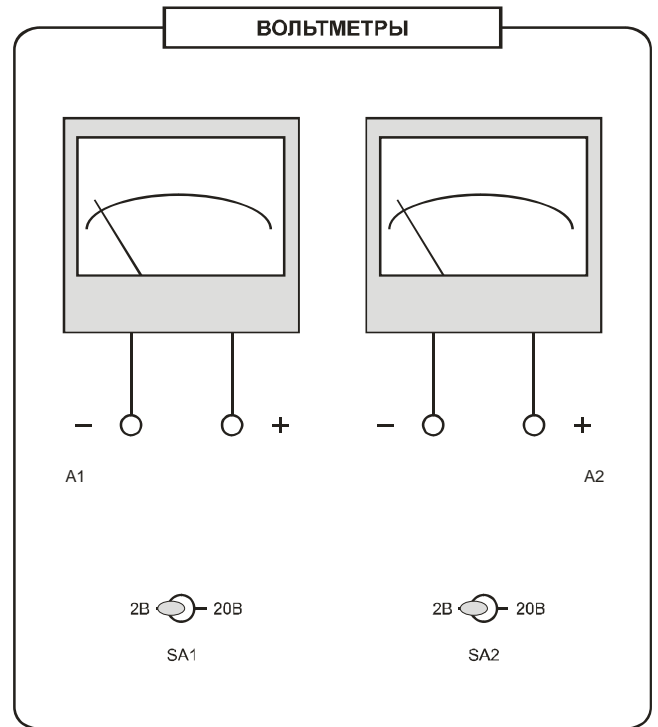


Рис. 6. Лицевая панель модуля «Вольтметры»

Измерительный модуль «Вольтметры» (рис. 6) позволяет измерить стрелочными приборами магнитоэлектрического типа два напряжения (приборами А1 и А2). Диапазоны измерений приборов приведены в табл. 3. Вольтметры имеют малое входное сопротивление и, если это мешает измерениям, следует использовать модуль «Мультиметры».

Таблица 2

Наименование прибора	Диапазон измерения	Класс точности
A1	0...0,1; 0...1; 0...10; 0...100 мА	1,5
A2	0...0,1; 0...1; 0...10; 0...100 мА	1,5

Таблица 3

Наименование прибора	Диапазон измерения	Класс точности
A1	0...2; 0...20 В	1,5
A2	0...2; 0...20 В	1,5

Модули «Мультиметры» и «Измерительный»

Модуль «Мультиметры» (рис. 7) включает в себя два цифровых прибора типа М890, используется в основном для измерения напряжений, диапазоны измерений приведены в табл. 4.

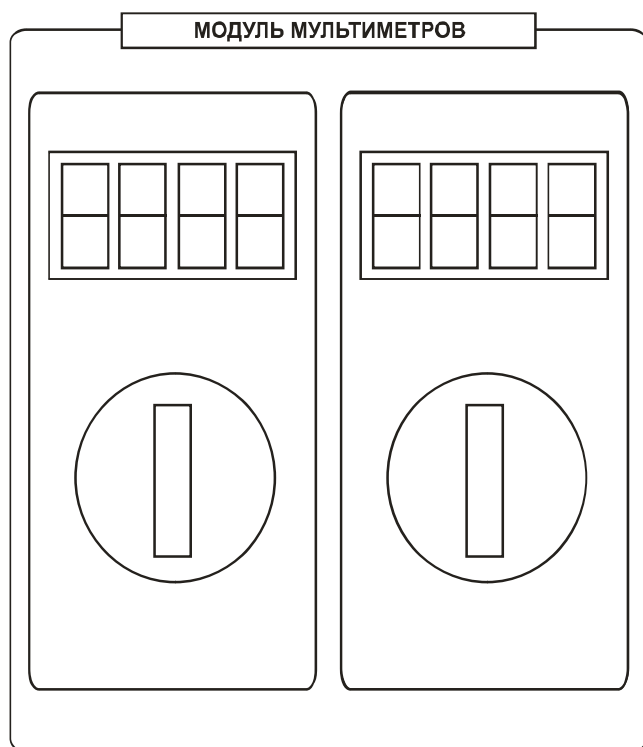


Рис. 7. Лицевая панель модуля «Мультиметры»

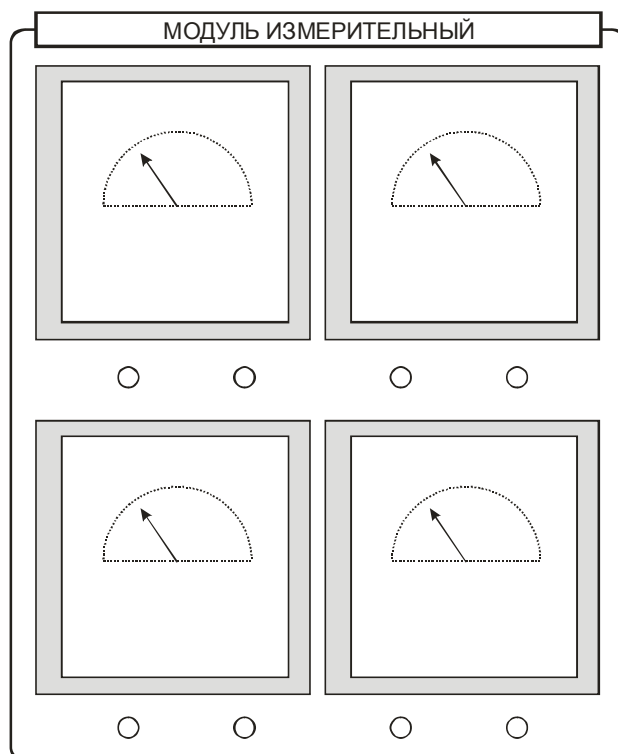


Рис. 8. Лицевая панель модуля «Измерительный»

Таблица 4

Измеряемый параметр	Диапазоны измерения	Класс точности
Постоянное напряжение	0...±200 мВ; 0...±2 В; 0...±20 В; 0...±200 В; 0...±1000 В	1,5
Постоянный ток	0...±2 мА; 0...±20 мА; 0...±200 мА; 0...±10 А	1,5
Переменное напряжение	0...2 В; 0...20 В; 0...200 В; 0...700 В	1,5
Переменный ток	0...20 мА; 0...200 мА; 0...10 А	1,5

Примечание. Будьте внимательны при измерении тока – входные гнезда мультиметра необходимо соответственно включать на «мА» или «10 А»!

Модуль «Измерительный» (рис. 8) предназначен для проведения измерений в цепях постоянного и переменного тока. Модуль содержит два амперметра постоянного тока магнитоэлектрической системы типа М42300 с пределом измерения

+2 А и ± 2 А соответственно, один амперметр переменного тока электромагнитной системы типа ЭА0700 с пределом измерения 1 А. И один вольтметр переменного тока типа Ц42300 с пределом измерения 0...250 В.

Модуль «Измеритель мощности»

Модуль «Измеритель мощности» (рис. 9) предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения в поддиапазонах 0...30 В, 0...300 В;
- действующего значения тока в поддиапазонах 0...0,2 А, 0...2 А;
- активной мощности в диапазоне 0...600 Вт;
- реактивной мощности в диапазоне 0...600 ВАР;
- полной мощности в диапазоне 0...600 ВА;
- частоты в диапазоне 5...200 Гц;
- $\cos\varphi$;
- угла сдвига фаз между током и напряжением φ .

Прибор содержит:

- гнезда для подачи входного измеряемого сигнала (генератора) А и N
- гнезда для подключения потребителя (нагрузки) А1 и N. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между гнездами А и А1;
- индикатор жидкокристаллический четырехстрочный для вывода информации;
- выключатель «Сеть» для подключения питания прибора;
- тумблер «U» для изменения поддиапазона измерения напряжения;
- тумблер «I» для изменения поддиапазона измерения тока;
- кнопка «P/Q/S» для изменения вывода информации в третьей строке индикатора, соответственно, активной, реактивной и полной мощности;
- кнопка «f/cosφ/φ» для изменения вывода информации в четвертой строке индикатора, соответственно, частоты, косинуса и угла сдвига фаз между током и напряжением.

При одновременном нажатии кнопок «P/Q/S» и «f/cosφ/φ» модуль «Измеритель мощности» переходит в режим измерения постоянных токов и напряжений. Обратное переключение осуществляется повторным нажатием кнопок «P/Q/S» и «f/cosφ/φ».

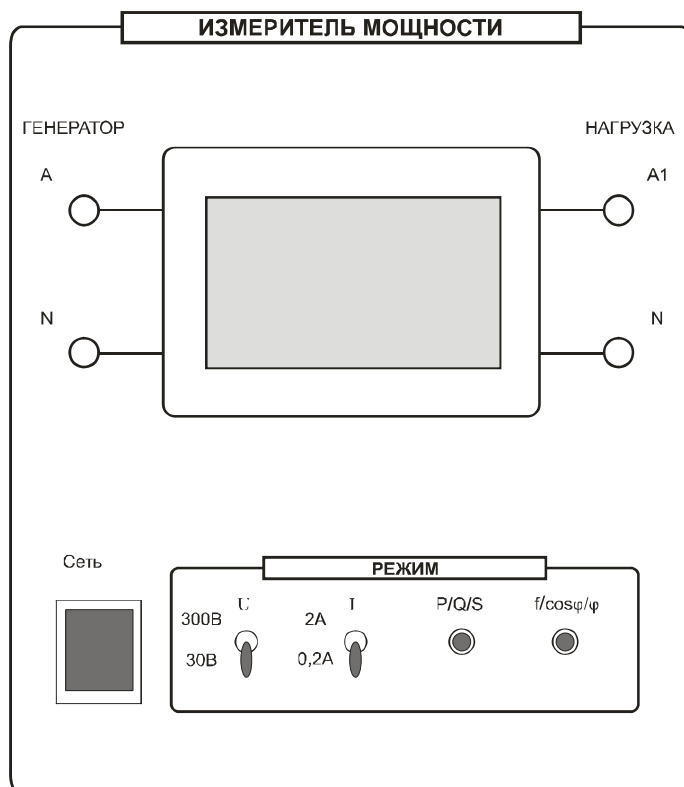


Рис. 9. Лицевая панель модуля «Измеритель мощности»

Электронный осциллограф

Электронный осциллограф предназначен для наблюдения на экране электронно-лучевой трубки функциональных зависимостей сигналов, изменений электрических сигналов во времени, а также для измерения различных электрических величин. В лаборатории используется двухканальный осциллограф GOS-620 или С1-117.

Полоса пропускания осциллографа GOS-620 составляет 20 МГц, максимальная чувствительность – 1 мВ/дел, минимальный коэффициент развёртки – 0,2 мкс/дел.

На рис. 10 показана лицевая панель осциллографа GOS-620 с обозначением органов управления.

Включение питания осциллографа осуществляется кнопкой 6 «*POWER*». При его включенном состоянии загорается индикатор 5. Регулировка яркости и фокусировка изображения на экране осциллографа – позиция 33 – осуществляется вращением ручек 2 «*INTEN*» и 3 «*FOCUS*» соответственно. Изменение наклона изображения по горизонтали производится ручкой 4 «*TRACE ROTATION*». На выходе калибратора – позиция 1 – «*CAL*» напряжение 2 В и частота 1 кГц.

Каналы ввода сигналов. Исследуемые сигналы подаются на входы каналов *CH1* гнездо 8 и *CH2* гнездо 20.

Переключатели 10 и 18 режимов входов усилителей «*AC-GND-DC*»: «*AC*» (закрытый вход) – пропускает только переменную составляющую; «*DC*» (открытый вход) – постоянную и переменную составляющую; «*GND*» – вход усилителя отключается от источника сигнала и заземляется.

Дискретное изменение масштаба по оси *Y* для 1 и 2 каналов *CH1* и *CH2* от 5 мВ/дел до 5 В/дел в 10 диапазонах осуществляется регуляторами 7 и 22 «*VOLTS/DIV*» (вольт на деление) соответственно, с внешним делителем 1:10 от 50 мВ/дел. до 50 В/дел. Плавное изменение масштаба производится ручками 9 и 21 «*VARIABLE*». Когда ручка вытянута «режим $\times 5$ раз» происходит дополнительное увеличение амплитуды в 5 раз. Масштабы будут соответствовать указанным, если ручки 9 и 21 находятся в крайнем правом положении.

В канале *CH2* также можно осуществлять инвертирование сигнала нажатием кнопки 16 *CH2* «*INV*».

Балансировку каналов *CH1* и *CH2* можно выполнять с помощью регуляторов 13 и 17 «*DC BAL*». Регулировка положения лучей обеих каналов по вертикали осуществляется соответственно ручками 11 и 19 «*POSITION*».

Для наблюдения на экране осциллографа одного или одновременно двух сигналов используется переключатель 14 режима работы усилителя «*MODE*». В положениях: *CH1* и *CH2* – на экране наблюдается сигнал канала 1 или 2 или входной сигнал *X*-оси или *Y*-оси для режима *X-Y*; «*DUAL*» – одновременное изображения сигналов обоих каналов; «*ADD*» – отображается сумма сигналов подаваемых на два канала *CH1* и *CH2* или их разность при нажатой кнопки *CH2* «*INV*».

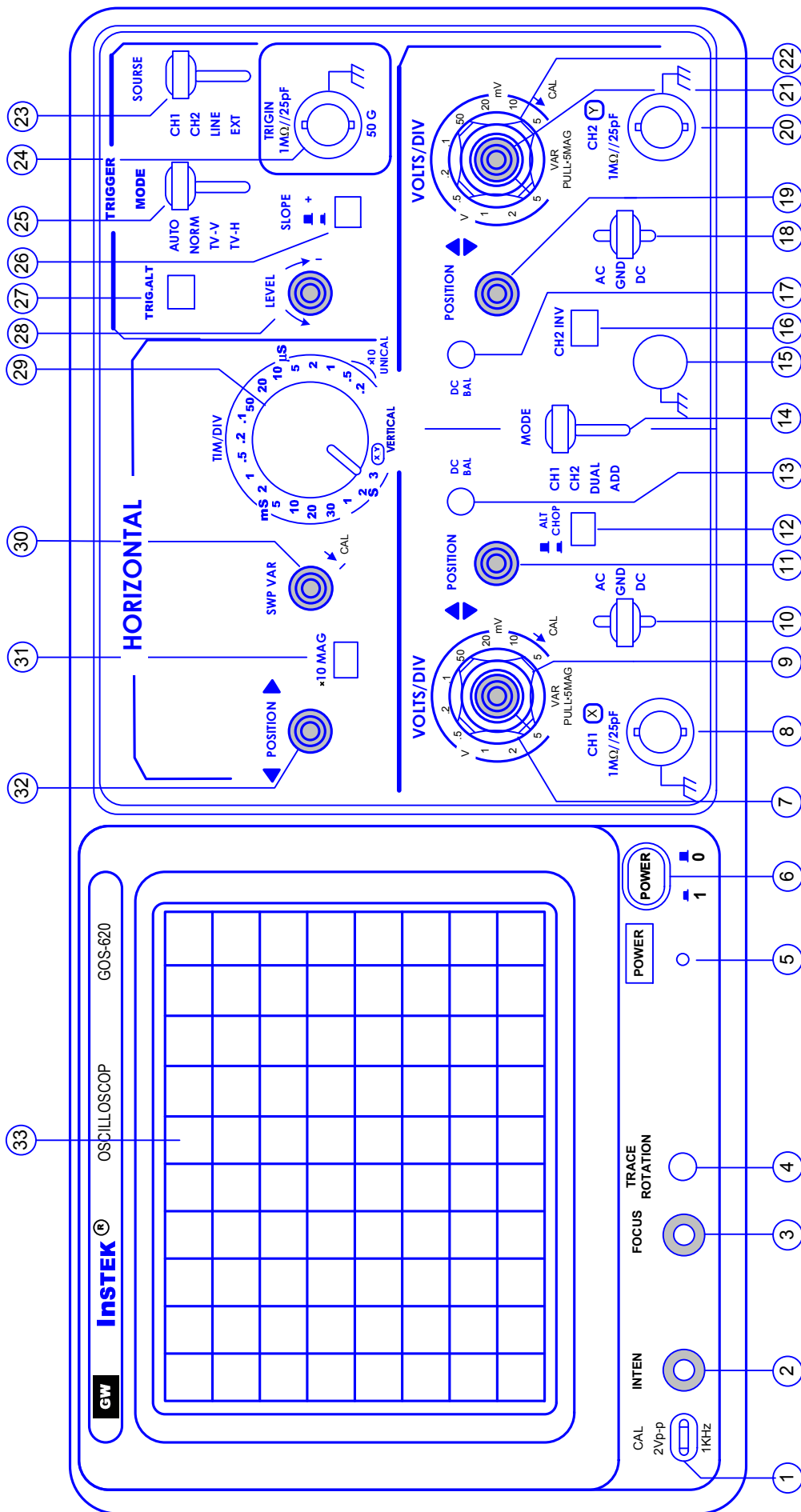


Рис. 10. Лицевая панель осциллографа GOS-620

При этом, когда кнопка 12 «*ALT/CHOP*» отжата в двухканальном режиме, режим работы коммутатора выбирается автоматически исходя из положения ручки «время/дел». При нажатии на кнопку коммутатор принудительно переключается в режим попеременного показа кривых.

Для заземления предназначено гнездо 15 «*GND*».

Развертка. Масштаб развертки устанавливается ручкой 29 «*TIME/DIV*» от 0,2 мкс/дел до 0,5 с/дел 20 ступенями. При переводе в положение *X-Y* обеспечивается наблюдение функциональной зависимости двух напряжений (фигур Лиссажу). Плавная регулировка коэффициента развертки производится ручкой 30 «*SWP.VAR*». Перемещение изображения по горизонтали – ручкой 32 «*POSITION*». При нажатой кнопке 31 «*×10 MAG*» – скорость развертки увеличивается в 10 раз.

Синхронизация. Выбор режима синхронизации осуществляется ручкой 23 «*SOURCE*»: *CH1* и *CH2* – развертка синхронизируется сигналом с первого или второго канала соответственно; «*LINE*» – развёртка синхронизируется от сети 50 Гц; «*EXT*» – внешняя синхронизация и для подачи исследуемого сигнала непосредственно на входной усилитель *X*. Для входа внешней синхронизации используется вход 24 «*TRIG IN*»;

При нажатой кнопке 27 «*TRIG.ALT*» – развертка поочередно синхронизируется сигналом с 1 и 2 каналов.

Переключатель 26 полярности синхронизирующего сигнала «*SLOPE*» «+» или «-» развертка синхронизируется положительным или отрицательным перепадом исследуемого сигнала.

Регулировка уровня исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки, производится ручкой 28 «*LEVEL*».

Выбор режима работы запуска развертки – позиция 25 – «*TRIGGER MODE*» (полярность сигнала должна быть при этом отрицательной): «*AUTO*» – если нет сигнала синхронизации, развертка переходит в автоколебательный режим; «*NORM*» – развертка запускается только при наличии входного сигнала; «*TV-V*» и «*TV-H*» – синхронизация по вертикали (по кадрам) и по горизонтали (по строкам).

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Порядок выполнения работ

Перед выполнением работ все студенты должны изучить правила техники безопасности применительно к лаборатории промышленной электроники, для чего преподавателем проводится инструктаж. Краткий инструктаж проводится также на каждом занятии.

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) ознакомиться с ее содержанием и, пользуясь рекомендованной литературой [1–5] и конспектом лекций, изучить теоретические положения, на которых базируется работа;
- 2) выполнить предварительные расчеты и построения, указанные в задании для своего варианта;
- 3) изучить схему лабораторной установки и продумать методику выполнения лабораторной работы;
- 4) ответить на контрольные вопросы.

Перед выполнением каждой лабораторной работы необходимо сдать коллоквиум и представить отчет по предыдущей работе. Вопросы коллоквиума составлены на основе контрольных вопросов пособия.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) ознакомиться с рабочим местом, проверить наличие необходимых приборов и соединительных проводов;
- 2) проверить положение стрелок электроизмерительных приборов и если требуется, установить на нуль; приборы с несколькими пределами измерения включить на наибольший предел;
- 3) произвести сборку схемы;
- 4) после разрешения преподавателя включить питание и приступить к выполнению работы;
- 5) в начале каждого опыта качественно оценить характер зависимости, изменяя напряжения и токи в допустимых пределах, а затем произвести требуемые измерения. При снятии характеристик надо обязательно снять крайние точки. Наибольшее число измерений следует производить на участках резкого изменения наклона характеристик, а на линейных участках независимо от их протяженности достаточно снимать по три точки. Характеристики строятся непосредственно во время проведения эксперимента;
- 6) в ходе работы и по ее окончанию полученные данные представлять на проверку преподавателю;
- 7) схему разбирать только после проверки преподавателем результатов опыта (перед разборкой выключить источник питания!);
- 8) по окончании работы привести в порядок рабочее место.

Рекомендации по работе с осциллографом

Масштабы по напряжению m_u каналов ввода сигналов соответствует указанным на осциллографе около регуляторов 7 и 22, если ручки 9 и 21 установлены в крайние правые положения (до щелчка).

При измерении напряжения на шунте масштаб по току

$$m_i = \frac{m_u}{R_{ш}} \frac{\text{А}}{\text{дел.}}, \quad (1)$$

где $R_{ш}$ – сопротивление шунта.

Масштаб в угловых единицах (градусах)

$$m_{\omega t} = 360 f m_t \frac{\text{град}}{\text{дел.}}, \quad (2)$$

при этом масштаб по времени m_t должен быть выражен в «с/дел».

Удобнее определять масштаб в градусах, зная период сигнала на экране. Тогда

$$m_{\omega t} = \frac{360}{T_{\text{дел}}} \frac{\text{град}}{\text{дел.}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{дел}}$ – длительность периода на экране в делениях.

Рекомендации по обеспечению техники безопасности при работе с осциллографом

При применении двухканального осциллографа возникает опасность коротких замыканий в схеме через два провода входов, связанных с корпусом осциллографа.

Осциллограф должен быть специально подготовлен к работе на стенде. Сетевой шнур следует подключать только в розетку с заземленным контактом (евро-розетку).

От осциллографа в исследуемую схему должен идти только один провод, связанный с корпусом «⊥». Этот провод рекомендуется подключать к точке исследуемой схемы с наименьшим потенциалом. При подключении двух проводов оба сигнала будут измеряться относительно точки, к которой подсоединен корпус осциллографа («⊥»).

Аналогично, сигнал внешней синхронизации должен подаваться на вход внешней синхронизации только одним проводом. При этом сигнал подается относительно точки, к которой подключен корпус осциллографа («⊥»).

Целесообразно, чтобы не менять (мало менять) масштабы, подавать сигналы напряжения на один канал (например, *СН1*), а тока – на другой (например, *СН2*).

Эти рекомендации являются обязательными! Их невыполнение может привести к выходу из строя модулей комплекса.

Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) схемы экспериментов;
- 2) предварительные расчет заданного варианта;
- 3) рассчитанные характеристики и подтверждающие их экспериментальные характеристики, построенные в одних осях координат;
- 4) сравнительные таблицы экспериментальных и расчетных данных;
- 5) все остальные экспериментальные характеристики;
- 6) обработанные осциллограммы;
- 7) выводы (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т. д.).

Отчет оформляется чернилами или шариковой ручкой. Схемы вычерчиваются карандашом. Графики строятся на листах миллиметровой бумаги карандашом и вклеиваются в отчет. Отчет может быть напечатан на принтере.

Опытные точки могут иметь разброс. Экспериментальные кривые проводят плавно, максимально приближая к экспериментальным точкам. На графиках приводят название, обозначают, к какому опыту они относятся, и указывают постоянные величины, определяющие условия опыта. На осях координат надо обязательно указать, какая величина по ним отложена, в каких единицах она измеряется, и нанести деления. Цена деления должна быть удобной для работы.

Пример обработки осциллограммы приведен на рис. 11.

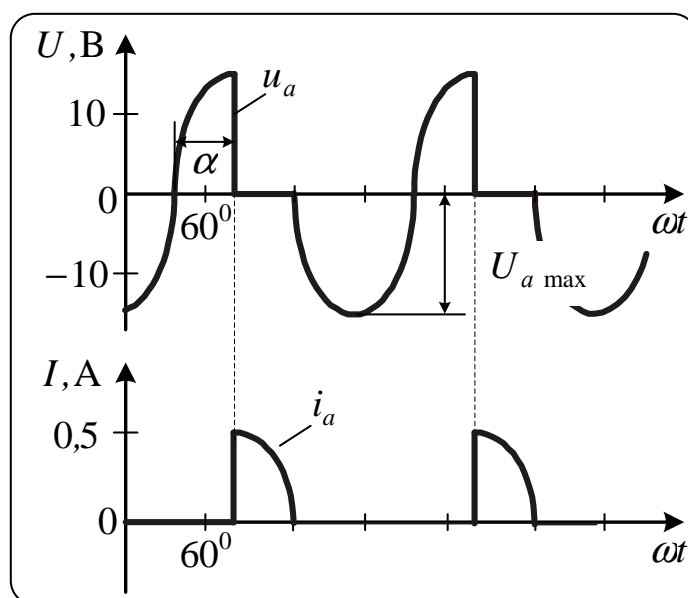


Рис. 11. Пример обработки осциллограмм

Работа № 1
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО
НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и основных соотношений в простейшем неуправляемом выпрямителе, выполненном по однофазной однополупериодной схеме при работе на активную нагрузку.

Описание лабораторной установки

При выполнении работы используются следующие модули: «Диоды», «Миллиамперметры», «Вольтметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Диоды» представлена на рис. 1.

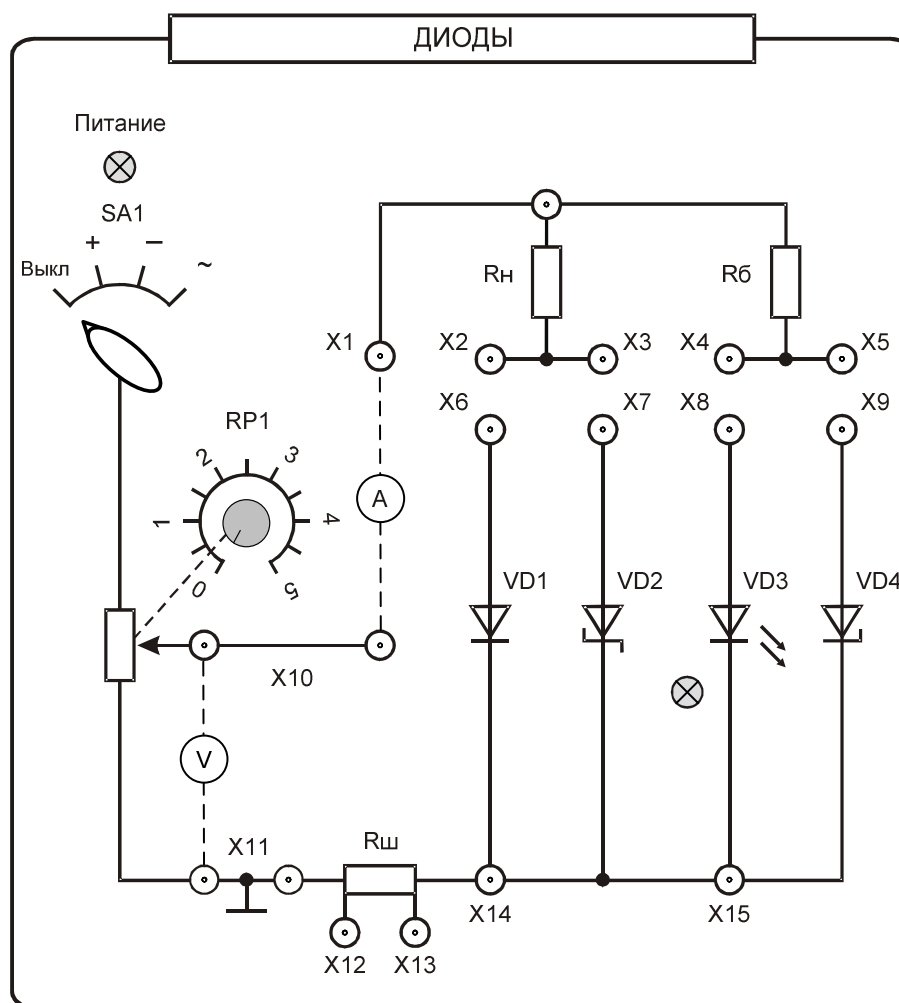


Рис. 1. Лицевая панель модуля «Диоды»

На лицевой панели приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. На мнемосхеме изображены: выпрямительный диод $VD1$, диод Шоттки $VD2$, светодиод $VD3$, стабилитрон $VD4$ ($VD3$ и $VD4$ в работе не используются). Потенциометр $RP1$ служит для изменения подаваемого напряжения. Резисторы $R_H = 150 \text{ Ом}$ и $R_6 = 1,1 \text{ кОм}$ используются в качестве сопротивлений нагрузки. Переключатель $SA1$ в данной работе применяется для включения переменного напряжения, а также для выключения питания модуля. Шунт $R_{ш} = 10 \text{ Ом}$ служит для измерения сигнала, пропорционального току через вентиль. На передней панели размещены также гнезда для осуществления внешних соединений ($X1 - X15$). На мнемосхеме не показан силовой трансформатор на входе, от вторичной обмотки которого через потенциометр $RP1$ подается регулируемое переменное напряжение U_2 .

Для подачи напряжения на модуль необходимо включить автоматический выключатель $QF1$ «Модуля питания стенда».

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Однофазные выпрямители», «Энергетические показатели» [1, с. 289–301, 327–332; 2, с. 6–19, 53–55] и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) построить в масштабе временные диаграммы для однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя: переменное синусоидальное напряжение u_2 , выпрямленное напряжение u_d , анодный ток i_a и напряжение на вентиле (анодное напряжение) u_a . Действующее значение U_2 переменного напряжения взять из таблицы вариантов. Вентиль считать идеальным;

в) определить основные напряжения и токи для однофазного неуправляемого выпрямителя.

Среднее значение идеального выпрямленного напряжения

$$U_{d0} = \frac{U_{2m}}{\pi} = 0,45 \cdot U_2, \quad (1)$$

где U_{2m} – амплитуда напряжения на вторичной стороне трансформатора

$$U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2. \quad (2)$$

Амплитуда выпрямленного напряжения

$$U_{d \max} = U_{2m} = \pi \cdot U_{d0}. \quad (3)$$

Среднее значение выпрямленного тока

$$I_d = \frac{U_{d0}}{R_d}, \quad (4)$$

где R_d – активное сопротивление нагрузки на стороне выпрямленного напряжения. Оно равно R_H или R_6 .

Среднее и амплитудное значение анодного тока

$$I_a = I_d, \quad I_{a \max} = I_{d \max} = \pi \cdot I_d. \quad (5)$$

Действующее значение анодного тока

$$I_{ad} = \frac{I_{a \max}}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot I_d. \quad (6)$$

Амплитуда обратного напряжения на вентиле

$$U_{a \max} = U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \pi \cdot U_{d0}. \quad (7)$$

г) построить внешнюю характеристику по двум значениям тока I_d , определяемым сопротивлениями нагрузки R_d (150 Ом и 1100 Ом) по формуле (4)

$$U_d = U_{d0} - U_0 - I_d \cdot (r_a + r_d) \quad (8)$$

Здесь U_0 и r_d – пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление вентиля, r_a – активное сопротивление обмоток трансформатора, приведенное к вторичной стороне (внутреннее активное сопротивление источника питания);

д) определить потери в вентиле

$$\Delta P_a = U_0 \cdot I_a + I_{ad}^2 \cdot r_d. \quad (9)$$

2. Экспериментальное исследование однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя:

а) собрать схему однополупериодного неуправляемого выпрямителя в соответствии с рис. 2. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на схеме (см. рис. 2).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение напряжения U_2 , тока I_2 и мощности на входе	W	$U_2 \sim 30$ В; $I_2 \sim 0,2$ А	Измеритель мощности
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	V	= 20 В	Вольтметры
Среднее значение выпрямленного тока I_d	A	×1000	Миллиамперметры

Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. Включить модуль «Диоды», установив переключатель SA1 (см. рис. 1) в положение «~». Потенциометром RP1 установить на входе напряжение U_2 , указанное в таблице вариантов. Включить тумблеры «Сеть» модуля «Измеритель мощности»;

б) снять осциллограммы напряжения на диоде u_d (вход *CH1* осциллографа подключить к гнезду X3, временно отключив вольтметр *V* от измеряемой цепи) и анодного тока i_a (вход *CH2* осциллографа подключить к гнезду X13, а корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом X12). Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. Переключить осциллограф в двухканальный режим (*Dual*);

в) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d . Для этого корпус осциллографа «⊥» подключить к гнезду X3, а вход канала *CH2* – к гнезду X1. По снятым осциллограммам определить амплитуду тока $I_{a \max}$ и напряжений $U_{a \max}$, $U_{d \max}$;

г) измерить с помощью измерительных приборов действующие значения напряжение U_2 , тока I_2 и мощности (активную P и полную S) на входе, выпрямленный ток I_d и выпрямленное напряжение U_d . Рассчитать коэффициент мощности выпрямителя $\chi = P/S$. После выполнения эксперимента перевести переключатель SA1 модуля «Диоды» в положение «Выкл»;

д) снять внешнюю характеристику выпрямителя $U_d = F(I_d)$ при двух значениях сопротивления нагрузки (150 и 1100 Ом). Для этого вместо сопротивления $R_H = 150$ Ом в схему (см. рис. 2) подключить сопротивление $R_6 = 1100$ Ом. Включить питание модуля «Диоды». С помощью измерительных приборов измерить выпрямленное напряжение U_d и выпрямленный ток I_d . Построить внешнюю характеристику. Выключить питание модуля, переключив SA1 в положение «Выкл»;

е) включить в цепь вместо выпрямительного диода диод Шоттки и повторить эксперименты 2 г – д. Сравнить полученные результаты. Изменилось ли выпрямленное напряжение? После выполнения эксперимента перевести переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра *RP1* установить в положение «0». Выключить тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности».

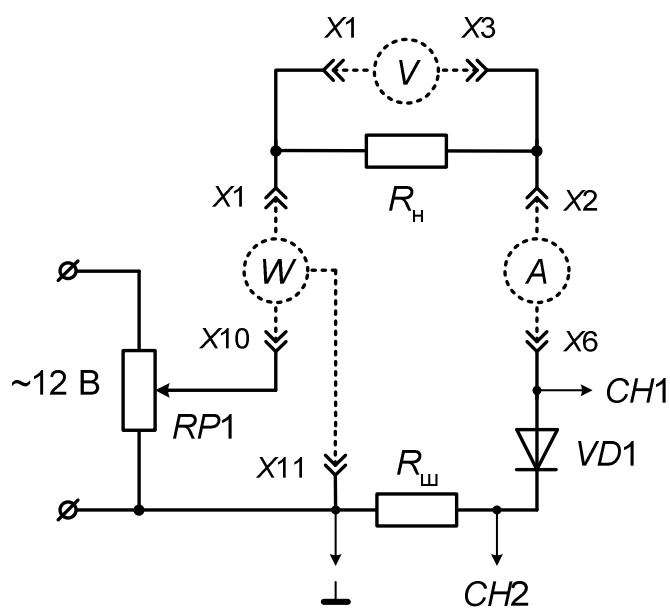


Рис. 2. Схема для исследования однополупериодного неуправляемого выпрямителя

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- временные диаграммы и характеристики, построенные предварительно;

- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе:
 - объяснить влияние тока нагрузки I_d на выпрямленное напряжение U_d ;
 - объяснить влияние типа диода на выпрямленное напряжение U_d .

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются выпрямители?
2. Какова структурная схема выпрямителя и почему она может упрощаться?
3. Какие виды нагрузок возможны у выпрямителя?
4. Какие схемы применяются для выпрямления однофазного тока?
5. Как работают однофазные схемы выпрямления?
6. Назвать основные величины, используемые при описании работы выпрямителей.
7. Какие допущения принимаются при анализе схем выпрямления?
8. Как и зачем строятся временные диаграммы токов и напряжений?
9. Почему и как влияет характер нагрузки на форму токов в выпрямителе?
10. Какова частота пульсаций в изучаемых схемах?
11. Как определяются основные соотношения между токами и напряжениями в схемах выпрямления?
12. Как учитывается неидеальность вентиля и трансформатора?
13. Что такое внешняя характеристика?
14. Сравнить однофазные схемы выпрямления по основным показателям.
15. Указать области применения различных схем выпрямления.

Таблица вариантов

№ варианта	Действующее значение переменного напряжения U_2 , В	Активное сопротивление трансформатора, приведенное к вторичной стороне r_a , Ом
1, 13	12	7,0
2, 14	11	10
3, 15	10	13,5
4, 16	9	15,0
5, 17	8	17,0
6, 18	12,5	5,0
7, 19	11,5	9,0
8, 20	10,5	12,0
9, 21	9,5	14,0
10, 22	8,5	16,0
11, 23	12	7,5
12, 24	10	13,0

Примечания:

1. При выполнении предварительного домашнего задания студенты, получившие подвариант А, выполняют пп. 1 а, б, в для выпрямительного диода; подвариант Б – пп. 1 а, б, г, д для выпрямительного диода; подвариант В – пп. 1 а, б, г, д для диода Шоттки.

2. Параметры выпрямительного диода: $U_0 = 0,6$ В; $r_\partial = 13,3$ Ом.

3. Параметры диода Шоттки: $U_0 = 0,1$ В; $r_\partial = 11,6$ Ом.

4. Сопротивление нагрузки $R_d = 150$ Ом.

5. В активное сопротивление трансформатора r_a входит внутреннее сопротивление потенциометра $RP1$.

Работа № 2
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫХ
УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, регулировочных и энергетических характеристик управляемых выпрямителей, выполненных по однофазной однополупериодной схеме выпрямления на обычных и запираемых тиристорах, при работе на активную и активно-индуктивную нагрузку.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе используются следующие модули: «Тиристоры», «Вольтметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф. Лицевая панель модуля тиристоров представлена на рис. 1.

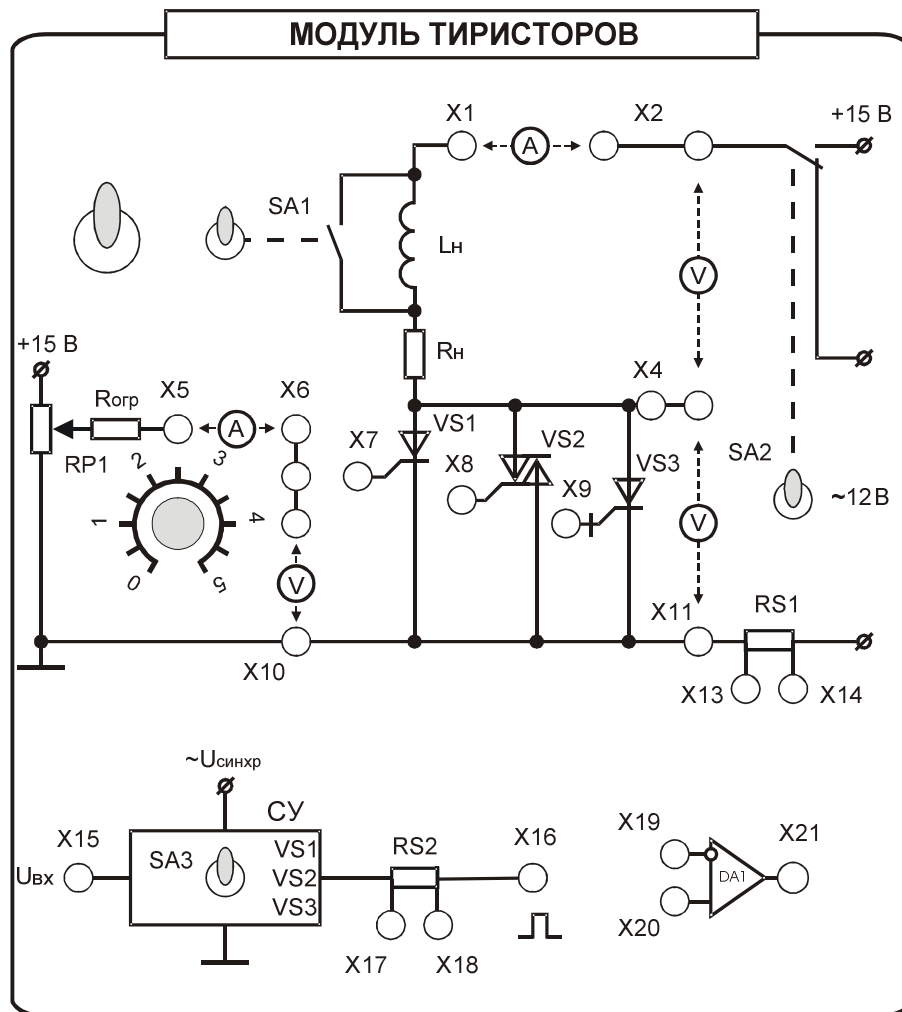


Рис. 1. Лицевая панель модуля «Тиристоры»

На лицевой панели приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. На мнемосхеме изображены: тиристор $VS1$, симметричный тиристор $VS2$ (в данной работе не используется), запираемый тиристор $VS3$, активное и индуктивное сопротивления нагрузки однополупериодного выпрямителя ($R_H = 150 \text{ Ом}$ и $L_H = 70 \text{ мГн}$). Потенциометр $RP1$ служит для изменения напряжения управления. Система управления (СУ) формирует управляющие импульсы, сдвигаемые по фазе, при изменении входного управляющего напряжения $U_{упр} = 0 \dots 10 \text{ В}$. Шунт $RS1 = 10 \text{ Ом}$ служит для осциллографирования сигнала, пропорционального току через тиристор, а $RS2 = 10 \text{ Ом}$ для осциллографирования тока управления. Усилитель $DA1$ позволяет усилить сигнал тока, снимаемый с шунта $RS1$. Также на передней панели размещены гнезда для осуществления внешних соединений $X1 - X21$, ручка потенциометра $RP1$, переключатель вида нагрузки $SA1$ (активной – положение вверх или активно-индуктивной – положение вниз) и переключатель каналов подачи управляющих импульсов на соответствующие тиристоры $SA3$. Переключатель $SA2$ в данной работе подает на схему переменное напряжение ($\sim 12 \text{ В}$). На мнемосхеме не показан понижающий трансформатор, от которого переменное напряжение U_2 подается на схему.

Подача питания выполняется при включении сетевого выключателя, установленного на модуле.

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Тиристоры», «Однофазные выпрямители», «Управляемые выпрямители тока», «Энергетические показатели выпрямителей» [1, с. 219–230, 289–294, 312–316; 2, с. 8–19, 33–37, 53–55] и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u_2 , выпрямленного напряжения (напряжения на нагрузке) u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a для управляемого выпрямителя на однооперационном (незапираемом) тиристоре для заданного угла управления α и напряжения U_2 ;

в) построить регулировочную характеристику при активной нагрузке и идеальных вентилях, а также при учете падения напряжения на вентиле, для заданных параметров. Уравнение регулировочной характеристики при активной нагрузке и идеальных вентилях

$$U_{d\alpha 0} = U_{d0} \cdot \left[\frac{1 - \sin(\alpha - \pi/2)}{2 \cdot \sin(\pi/2)} \right], \quad (1)$$

где $U_{d0} = 0,45 \cdot U_2$ – среднее выпрямленное напряжение на нагрузке в неуправляемом выпрямителе.

Падение напряжения на вентиле приближенно можно учесть, вычтя пороговое напряжение U_0 , тогда уравнение регулировочной характеристики

$$U_{d\alpha} = U_{d\alpha 0} - U_0. \quad (2)$$

г) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u_2 , выпрямленного напряжения (напряжения на нагрузке) u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a для управляемого выпрямителя на запираемом тиристоре для заданных углов управления α и напряжения U_2 .

2. Экспериментальное исследование однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя на незапираемом тиристоре:

а) собрать схему однополупериодного управляемого выпрямителя на незапираемом тиристоре в соответствии с рис. 2. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

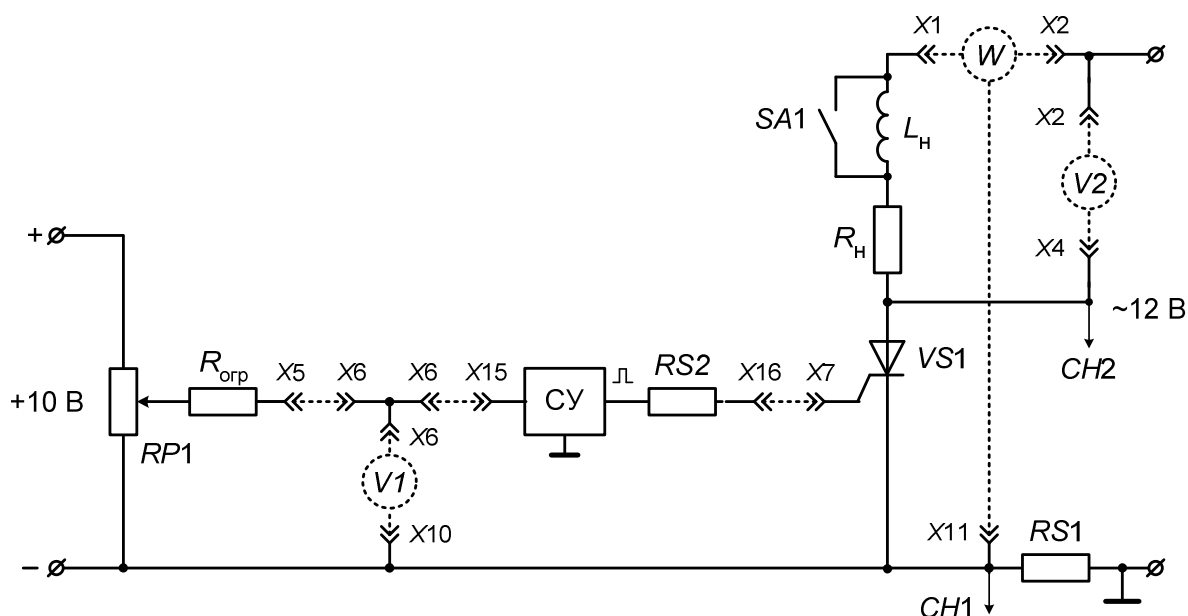


Рис. 2. Схема для исследования однополупериодного управляемого выпрямителя на незапираемом тиристоре

В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на схеме (см. рис. 2).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующие значения напряжения U_2 , тока I_2 и мощности на входе	W	$U_2 \sim 30 \text{ В};$ $I_2 \sim 0,2 \text{ А}$	Измеритель мощности
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	$V2$	$= 20 \text{ В}$	Вольтметры
Напряжение управления $U_{упр}$	$V1$	$= 20 \text{ В}$	Вольтметры

Переключить тумблер SA1 (см. рис. 1) в верхнее положение, соответствующее активной нагрузке, а SA2 – в нижнее положение, подключив в цепь нагрузки тиристора VS1 переменное напряжение (~12 В). Переключатель SA3 установить в верхнее положение, соответствующее управлению тиристором VS1. Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1;

б) изучить влияние угла управления на выпрямленное напряжение u_d и определить возможный диапазон изменения угла управления α . Для этого подключить вход CH2 осциллографа к гнезду X4, а корпус (\perp) – к гнезду X14 (напряжение на тиристоре u_d). Включить питание модуля «Тиристоры» и тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности». Регулировать угол управления α , изменяя напряжение управления $U_{упр}$. Снять зависимость угла управления от напряжения управления $\alpha = F(U_{упр})$.

Угол управления α определять при помощи осциллографа

$$\alpha = \frac{\alpha_{дел.}}{T_{дел.}} 360, \text{ град.} \quad (3)$$

где α – угол управления тиристора (град.);

$\alpha_{дел.}$ – угол управления на экране в делениях;

$T_{дел.}$ – длительность периода на экране в делениях.

В дальнейшем, пользуясь этой характеристикой, можно определять угол управления α , не пользуясь осциллографом;

в) при активной нагрузке и заданном угле управления α снять осциллограммы напряжения на тиристоре u_a (вход CH2 осциллографа подключить к гнезду X4, а корпус (\perp) – к гнезду X14) и анодного тока i_a (снимается с шунта RS1 – вход CH1 осциллографа к гнезду X13). Затем снять отдельно осциллограмму выпрямленного напряжения u_d (вход CH2 осциллографа подключить к гнезду X2, а корпус (\perp) – к гнезду X4, временно отключив вольтметр V2 от измеряемой цепи). Определить коэффициент мощности в этой точке $\chi = P/S$. Активную P и полную S мощности измерить «Измерителем мощности»;

г) переключить тумблер SA1 в нижнее положение, разомкнув индуктивность нагрузки L_H . Снять те же осциллограммы при заданном по варианту угле управления α и активно-индуктивной нагрузке, сравнить осциллограммы;

д) снять регулировочную $U_d = F(\alpha)$ и энергетические характеристики $P = F(\alpha)$, $S = F(\alpha)$, $\chi = F(\alpha)$ при активной нагрузке. Для этого переключить тумблер SA1 в верхнее положение, соответствующее активной нагрузке. Изменяя напряжение управления $U_{упр}$ ручкой потенциометра RP1, фиксировать по измерительным приборам требуемые величины. Экспериментальные данные занести в таблицу. Построить характеристики;

е) снять регулировочную характеристику $U_d = F(\alpha)$ при активно-индуктивной нагрузке, для чего переключить тумблер SA1 в нижнее положение. Сравнить снятые регулировочные характеристики и, пользуясь осциллограммами, объяснить

причины их отличий. Выключить питание модуля «Тиристоры» и тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности».

3. *Экспериментальное исследование однополупериодного управляемого выпрямителя на запираемом тиристоре:*

а) собрать схему в соответствии с рис. 2, а вместо тиристора $VS1$ включить запираемый тиристор $VS3$. Для этого подать на управляющий электрод $VS3$ импульсы от системы управления (СУ), переключив переключатель $SA3$ в крайнее нижнее положение и соединив перемычкой гнезда $X9 - X16$. Переключить тумблер $SA1$ в верхнее положение, замкнув индуктивность нагрузки L_H ;

б) повторить пункты 2 в, г для запираемого тиристора $VS3$. Сравнить осциллограммы п. 2 и 3. Объяснить наличие перенапряжений в схеме с запираемым тиристором;

в) для активной нагрузки найти угол α , при котором коэффициент мощности χ и $\cos\phi$ преобразователя максимальны. Энергетические показатели преобразователя замерять модулем «Измеритель мощности». Объяснить результат. Выключить питание модуля «Тиристоры» и тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) временные диаграммы и характеристики, построенные предварительно;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе. Обязательно ответить на контрольные вопросы 3, 4, 9.

Контрольные вопросы

1. Как работает однополупериодный управляемый выпрямитель?
2. Что такое угол управления? По какой осциллограмме его можно определить?
3. На что влияет угол управления?
4. От чего зависит форма напряжения на нагрузке?
5. Можно ли выполнить управляемый выпрямитель на транзисторе? Если нет, то почему, если да, то как?
6. Как влияет вид нагрузки на осциллограммы напряжения и тока?
7. Что такое угол проводимости вентиля?
8. Что такое регулировочная характеристика?
9. От чего зависит вид регулировочной характеристики?

10. Можно ли снять регулировочную характеристику на холостом ходу? Обоснуйте ответ.

11. Чем определяется диапазон изменения угла управления, необходимый для полного регулирования выпрямленного напряжения?

Таблица вариантов

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α , град.	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10	20	30
U_2 , В	12	11	10	9	8	7	12	11	10	9	8	7
U_0 , В	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	1,0
№ варианта	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
α , град	15	25	35	45	55	65	75	85	95	15	25	35
U_2 , В	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5
U_0 , В	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	1,0

Примечания:

1. При выполнении предварительного домашнего задания студенты, получившие подвариант А, выполняют пп. 1 а, б; подвариант Б – выполняют пп. 1 а, в; подвариант В – выполняют пп. 1 а, г.

2. Угол выключения β для запираемого тиристора принять: $\beta = \alpha + 60^0$, т.е. продолжительность работы тиристора $\lambda = 60^0$.

Работа № 3
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ТРЕХФАЗНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик выпрямителей, выполненных по трехфазной схеме с нулевым выводом и трехфазной мостовой схеме, при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС в режиме непрерывного тока.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Преобразователь частоты», «Модуль измерительный», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Тиристорный преобразователь» представлена на рис. 1. На ней изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы, а также гнезда для внешних соединений ($X1 - X20$). На мнемосхеме показаны трансформатор TV и реверсивный тиристорный преобразователь, состоящий из комплекта «Вперед» ($UZ1$) и комплекта «Назад» ($UZ2$). С помощью тумблера $SA1$ устанавливаются заданные параметры трансформатора (фактически подключаются дополнительные реакторы). Параметры трансформатора в зависимости от положения тумблера $SA1$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Положение тумблера	Первичное фазное напряжение $U_1, В$	Вторичное фазное напряжение $U_2, В$	Индуктивное сопротивление рассеяния, приведенное к вторичной стороне $x_a, Ом$	Активное сопротивление, приведенное к вторичной стороне $r_a, Ом$
1	220	48	4,3	1,65
2	220	48	0,3	1,5

В модуле установлена система управления (СУ) преобразователя, построенная на основе микроконтроллера. При подаче напряжения на гнезда А, В, С микроконтроллер СУ обеспечивает требуемый порядок включения элементов схемы, в том числе контактора $K1$, и подачу управляющих импульсов на тиристоры в соответствии с заданным углом управления. Потенциометр $RP1$ служит для регулирования напряжения на входе системы управления СУ с целью установки требуемого угла управления. Измерительный прибор $P1$ служит для измерения угла управления α .

В модуле «Тиристорный преобразователь» установлены датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), служащие для осциллографирования напряжений и токов в схеме. На гнезда X16 и X17 подаются сигналы напряжения, а на гнезда X19 и X20 – сигналы тока. Гнезда X15, X18 и общий провод «⊥» служат для подключения выходных цепей ДН и ДТ к осциллографу. Сигналы напряжения рекомендуется подавать на вход осциллографа CH1, а тока – на вход CH2.

Для осциллографирования выпрямленного тока i_d и напряжения u_d используются датчики тока и напряжения (ДТ и ДН), установленные в модуле «Тиристорный преобразователь». Для осциллографирования тока вентиля i_a и напряжения на вентиле u_a используются ДТ и ДН, установленные в модуле «Преобразователь частоты».

Коэффициент преобразования датчиков напряжения $k_H = 40$ В/В, коэффициент преобразования датчиков тока $k_T = 0,25$ А/В. Фактические значения напряжения и тока определяются умножением значений, измеренных при помощи осциллографа, на соответствующий коэффициент датчика.

С помощью тумблеров SA2 и SA3 изменяется полоса пропускания датчиков, что позволяет наблюдать на экране осциллографа сигнал (положение «2») или его первую гармонику (положение «1»).

Питание модуля «Тиристорный преобразователь» осуществляется через гнезда А, В, С на лицевой панели от источника трехфазного переменного напряжения (линейное напряжение 380 В) через автомат QF2, расположенный в модуле пита-

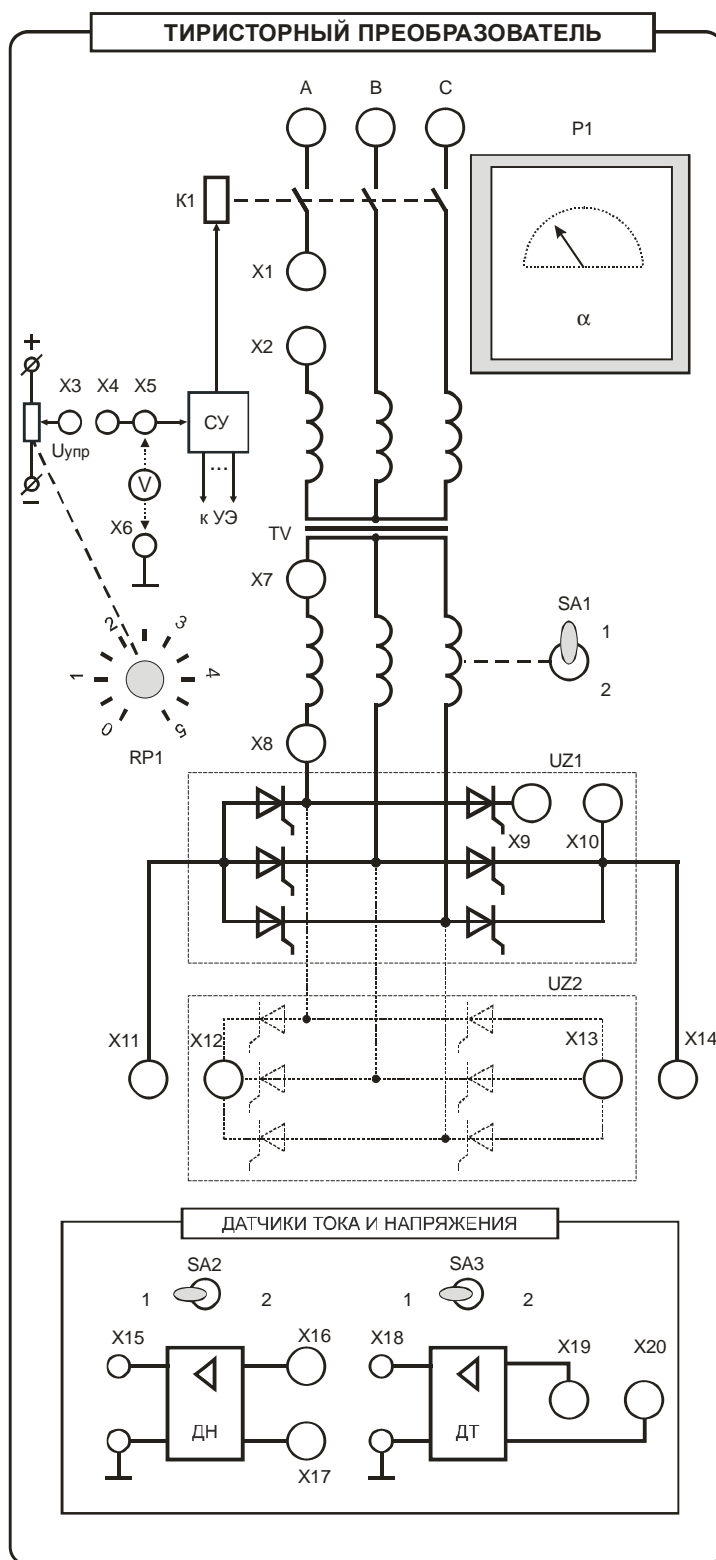


Рис. 1. Модуль «Тиристорный преобразователь»

ния. Постоянные напряжения для системы управления подаются на заднюю панель.

Нагрузка для исследуемого тиристорного преобразователя находится в модуле «Нагрузочное устройство», лицевая панель которого изображена на рис. 2.

При работе исследуемого преобразователя в выпрямительном режиме модуль может создавать как активно-индуктивную нагрузку, так и активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (ПЭДС), а при работе исследуемого преобразователя в инверторном режиме «Нагрузочное устройство» обеспечивает его питание постоянным током. Поэтому нагрузочное устройство по существу является нагрузочно-питающим устройством.

На передней панели модуля «Нагрузочное устройство» (см. рис.2) изображена мнемосхема, установлены регулирующие элементы ($RP1$ и $RP2$), а также гнезда для внешних соединений ($XS1 - XS8$). На мнемосхеме показаны трансформатор TV и тиристорный преобразователь UZ . Активно-индуктивная нагрузка создается дросселем $L2$ и регулируемым резистором $RP2$. Противо-ЭДС (ПЭДС) обеспечивает тиристорный преобразователь UZ , выполненный по трехфазной мостовой схеме, конденсатор C и дроссель $L1$, образующие фильтр. Система управления CU преобразователя обеспечивает поддержание тока нагрузки, задаваемого потенциометром $RP1$, за счет обратной связи по току, измеряемому с помощью шунта RS и подаваемо-

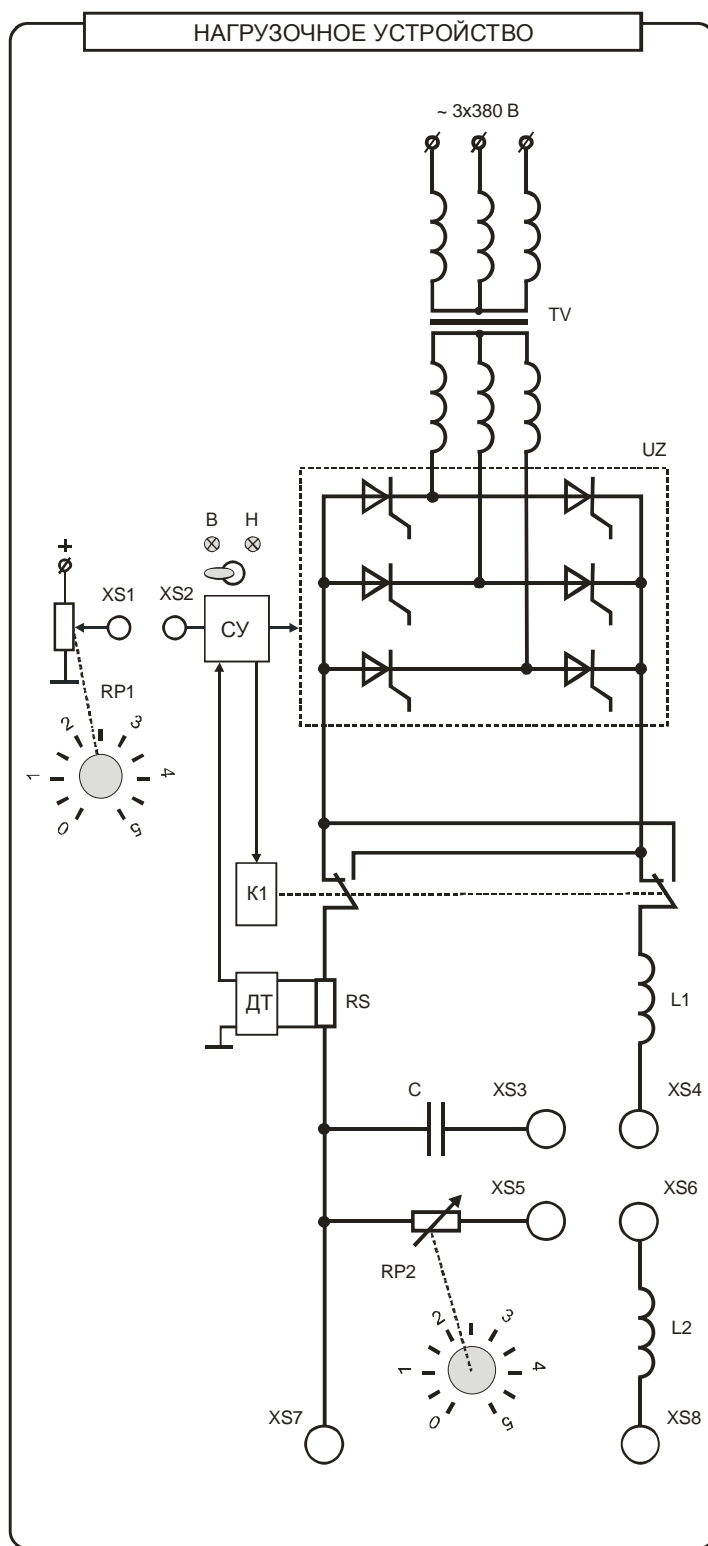


Рис. 2. Модуль «Нагрузочное устройство»

При подаче напряжения на исследуемый тиристорный преобразователь включается контактор К1 модуля «Тиристорный преобразователь», и через соединения на задних панелях модулей одновременно подается напряжение на модуль «Нагрузочное устройство». Микроконтроллер СУ обеспечивает требуемый порядок включения элементов схемы, в том числе контактора К1 модуля «Нагрузочное устройство», и подачу управляющих импульсов на тиристоры. Контактор К1 обеспечивает изменение знака ПЭДС и протекание тока в цепи нагрузки при исследовании модуля «Тиристорный преобразователь» с комплектами вентиля «Вперед» или «Назад». Положение контактора К1 задается тумблером, установленным на лицевой панели модуля «Нагрузочное устройство». Индикаторы «В» и «Н», подтверждающие переключение контактора К1, включаются с задержкой на несколько секунд. Переключение контактора К1 возможно только в бестоковую паузу.

Питание рассматриваемой установки производится от трехфазной сети переменного напряжения ($U_n = 380$ В) через автоматический выключатель $QF2$, установленный в «Модуле питания». Максимальный выпрямленный ток установки не должен превышать $I_d = 1$ А. Модуль «Тиристорный преобразователь» снабжен защитой от перегрузки, срабатывающей при токе $I_d = 2$ А.

Порядок включения установки

1. Собрать силовую схему эксперимента для выполнения лабораторной работы.
2. В модуле «Нагрузочное устройство» перевести тумблер, управляющий контактором К1, в положение «В», ручку потенциометра $RP1$ перевести в крайнее левое положение и проверить наличие перемычки $XS1 - XS2$.
3. В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер $SA1$ в положение, соответствующее заданным параметрам трансформатора (см. таблицу вариантов). Ручку потенциометра $RP1$ установить в положение «5», проверить наличие перемычки между гнездами $X3 - X4$.
4. Включить автомат $QF1$ «Модуля питания стенда», включить автомат $QF2$ «Модуля питания».
5. В модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданный угол управления потенциометром $RP1$.
6. В модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток ручкой потенциометра $RP1$.

При включенном автомате $QF2$ «Модуля питания» запрещается переключать тумблер $SA1$ в модуле «Тиристорный преобразователь», изменять места включения измерительных модулей и производить другие пересоединения.

Порядок выключения установки

1. Снизить ток нагрузки I_d до нуля (крайнее левое положение ручки потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство»).

2. Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания».

3. Автомат $QF1$ «Модуля питания стенда» выключается только в конце работы.

При срабатывании защиты по току необходимо отключить автомат «Модуля питания», проверить схему, позвать преподавателя и при необходимости внести изменения, включить автомат «Модуля питания».

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса: «Многофазные выпрямители», «Управляемые выпрямители», «Непрерывный режим» [1, с. 301–323; 2, с. 20–44], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) рассчитать угол коммутации γ для заданного варианта. Угол γ рекомендуется определить из соотношения

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos\alpha - \frac{2 \cdot x_a \cdot I_d}{\sqrt{6} \cdot U_2}; \quad (1)$$

в) построить в масштабе друг под другом временные диаграммы вторичных ЭДС, выпрямленного напряжения u_d , тока нагрузки i_d (при $x_d = \infty$), тока вентиля i_a , напряжения на вентиле u_a и первичного тока трансформатора i_1 с учетом заданных значений E_2 , α_1 , I_d и рассчитанного γ ;

г) рассчитать среднее значение выпрямленного напряжения U_d , тока вентиля I_a , действующие значения первичного I_1 и вторичного I_2 токов трансформатора для заданного значения тока нагрузки I_d . Среднее значение выпрямленного напряжения U_d при заданном значении угла управления α и тока нагрузки I_d можно определить из уравнения внешней характеристики для непрерывного режима

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos\alpha - a \cdot U_{T(T0)} - \left[a \cdot r_T + a \cdot r_a + \frac{x_a}{(2\pi/m)} \right] \cdot I_d, \quad (2)$$

где $U_{T(T0)}$ – пороговое напряжение тиристора;

r_T – дифференциальное сопротивление тиристора в открытом состоянии;

r_a , x_a – анодные активное и индуктивное сопротивления (сопротивления схемы замещения трансформатора, приведенные к стороне вентиля).

Коэффициент схемы a , пульсность схемы m и напряжение идеального холостого хода U_{d0} определяются видом схемы:

– для трехфазной нулевой схемы: $a = 1$, $m = 3$, $U_{d0} = 1,17 E_2$;

– для трехфазной мостовой схемы: $a = 2$, $m = 6$, $U_{d0} = 2,34 E_2$.

При расчете принять $U_{T(T0)} = 1$ В, $r_T = 0,05$ Ом, $E_2 = U_2$ на холостом ходу.

Формулы для расчета анодного тока вентиля I_a , действующих значений вторичного I_2 и первичного I_1 токов трансформатора приведены в табл. 2.

Примечание. Коэффициент трансформации $n = U_1 / U_2$.

Таблица 2

Схема	I_a	I_2	I_1
Трехфазная нулевая	$\frac{I_d}{3}$	$\frac{I_d}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{I_d}{n}$
Трехфазная мостовая	$\frac{I_d}{3}$	$\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d$	$\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{I_d}{n}$

2. Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:

а) собрать схему для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 3. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 3 приведены измерительные приборы, а в табл. 4 датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 3).

Таблица 3

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение фазного напряжения U_1 и первичного тока I_1 трансформатора	$PW1$	$U_1 \sim 300 \text{ В};$ $I_1 \sim 0,2 \text{ А}$	Измеритель мощности
Действующее значение вторичного напряжения трансформатора U_2	$PV1$	$\sim 200 \text{ В}$	Мультиметры
Среднее значение анодного тока I_a	$PA1$	–	Модуль измерительный
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	$PV2$	$= 200 \text{ В}$	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока I_d	$PA2$	–	Модуль измерительный

Тумблеры $SA2$ и $SA3$ датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 3;

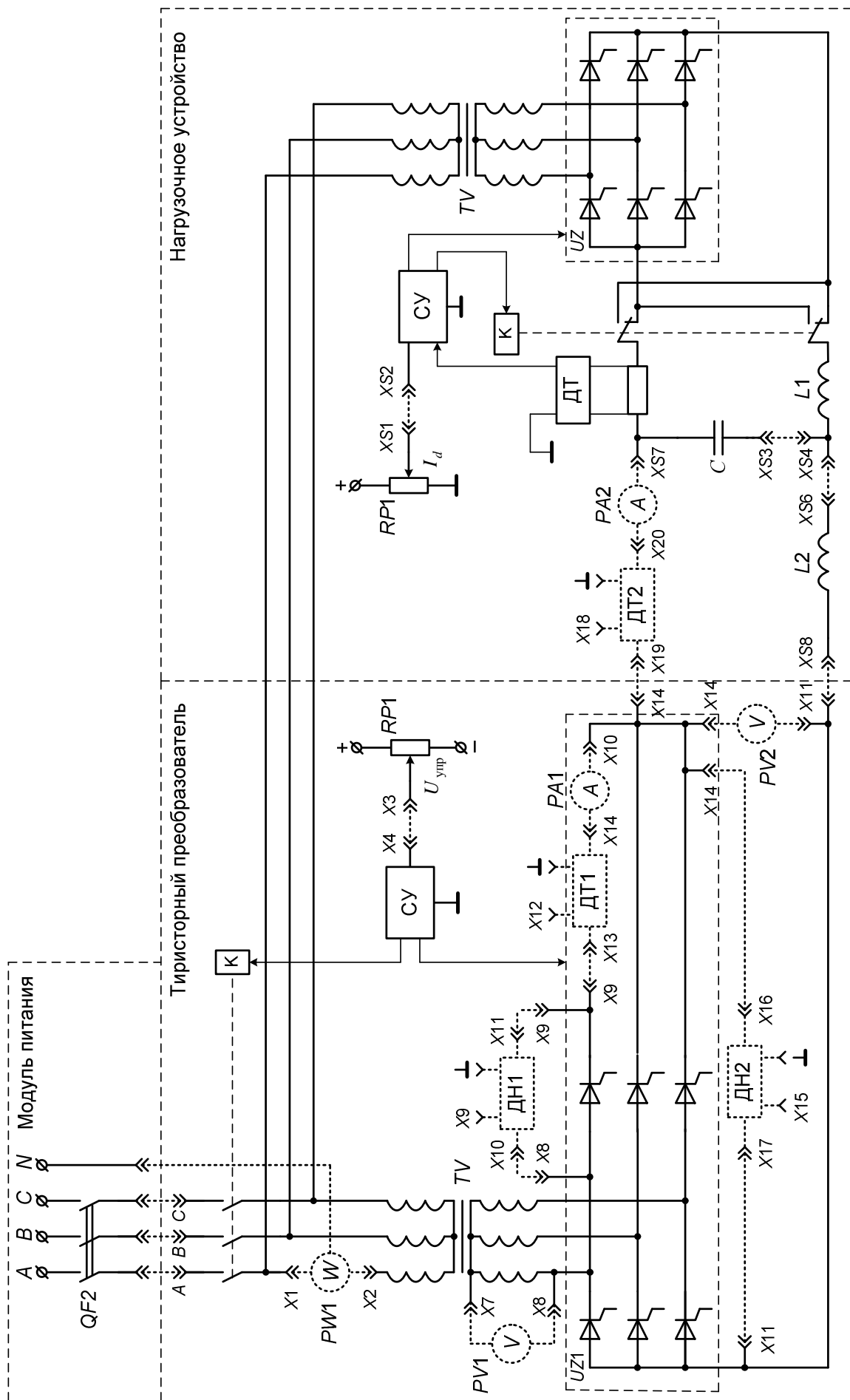


Рис. 3. Принципиальная схема для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

Таблица 4

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение анодного напряжения u_a	ДН1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение анодного тока i_a	ДТ1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН2	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ2	Тиристорный преобразователь

б) снять осциллограммы анодного тока i_a и анодного напряжения u_a при помощи осциллографа. Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения ДН1 (канал *СН1* – гнездо Х9) и датчику тока ДТ1 (канал *СН2* – гнездо Х12, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» датчика тока ДТ1). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Включить тумблер «Сеть» в модуле «Измеритель мощности». Потенциометром *РР1* в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления α_1 (по прибору *Р1*). Потенциометром *РР1* в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток нагрузки I_d . Проверить с помощью осциллографа соответствие угла α заданному, зарисовать с экрана осциллографа ток через вентиль i_a и напряжение на вентиле u_a . Записать масштабы по напряжению и времени (углу), а также учесть коэффициенты датчиков напряжения и тока;

в) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока i_d . Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения ДН2 (канал *СН1* – гнездо Х15) и датчику тока ДТ2 (канал *СН2* – гнездо Х18, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» датчика тока ДТ2). Проверить величину заданного угла α_1 и тока I_d согласно таблице вариантов. Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы u_d и i_d в тех же масштабах;

г) с помощью измерительных приборов сделать замеры среднего значения анодного тока I_a , выпрямленного напряжения U_d и первичного тока I_1 трансформатора для заданного тока нагрузки I_d и угла α_1 . Замерить вторичное напряжение U_2 при $I_d \approx 0$. Сравнить полученные значения с расчетными;

д) снять регулировочные характеристики выпрямителя $U_d = F(\alpha)$ при двух значениях тока нагрузки (номинальном и половине номинального). Характеристики снимать, изменяя угол α ручкой потенциометра *РР1* в модуле «Тиристорный преобразователь» так, чтобы выпрямленное напряжение U_d изменялось в диапазоне от максимального значения до нуля. Ток в цепи нагрузки I_d установить ручкой потенциометра *РР1* в модуле «Нагрузочное устройство» и далее не изменять его при снятии характеристик. Выполняя опыт, контролировать непрерыв-

ность тока i_d с помощью осциллографа. Построить характеристики на одном графике;

е) снять внешние характеристики $U_d = F(I_d)$ при заданном значении α_1 и при $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$. Характеристики снимать, изменяя ток ручкой потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство» в диапазоне от $0 \leq I_d \leq 0,9$ А. При снятии характеристик отметить точку перехода от непрерывного режима к прерывистому. Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

ж) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера $SA1$ в модуле «Тиристорный преобразователь». Включить автомат $QF2$ «Модуля питания», и снова снять внешнюю характеристику при заданном угле α_1 . Построить все внешние характеристики на одном графике;

з) установить тот же угол α_1 и ток нагрузки I_d , что и в п. 2 в. Снять осциллограмму u_d в том же масштабе, что и раньше. Сравнить углы коммутации γ . Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания».

3. Экспериментальное исследование трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:

а) собрать схему для исследования трехфазной нулевой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС. Для этого необходимо все клеммы с гнезда $X11$ модуля «Тиристорный преобразователь» подключить к гнезду $X7$ (нулевой вывод трансформатора TV), остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 3);

б) повторить пункты 2 б, в, г, д, е для трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом. Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности», а затем автоматы $QF2$ «Модуля питания» и $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты и построения;
- в) исходные данные, принципиальную силовую схему;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- е) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- ж) сравнение соответствующих осциллограмм для разных схем выпрямления и объяснение их различий. Показать и определить на осциллограммах u_d угол α ;
- з) сравнение расчетных и экспериментальных значений токов и напряжений. Объяснить причины их расхождения;

- и) сравнение регулировочных характеристик для разных схем. Указать различие и сходство;
- к) выводы по работе:
 - объяснить влияние на внешние характеристики и угол коммутации анодной индуктивности L_a , угла α и схемы выпрямления;
 - объяснить, почему величина тока в непрерывном режиме влияет на положение регулировочной характеристики.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные трехфазные схемы выпрямления.
2. Назовите основные величины, используемые при описании работы выпрямителей.
3. По каким признакам классифицируются выпрямители?
4. Как изменяется соотношение между приведенным индуктивным сопротивлением рассеяния трансформатора и приведенным активным сопротивлением обмоток при изменении мощности трансформатора?
5. Какова частота пульсации в изучаемых схемах?
6. Что такое непрерывный режим?
7. Что такое внешняя характеристика? От каких параметров зависит ее положение в непрерывном режиме?
8. Что такое регулировочная характеристика, от каких параметров зависит ее вид?
9. Сравнить трехфазную нулевую и трехфазную мостовую схемы по основным показателям.
10. Сравнить форму токов i_a и i_2 для трехфазной нулевой схемы при $x_d = \infty$. Почему отличаются формулы для I_a и I_2 ?
11. Будут ли отличаться осциллограммы, снятые в лабораторной работе, от временных диаграмм? Почему?
12. Что влияет на величину граничного тока?
13. Порядок включения и выключения лабораторной установки. Какие переключения и при каких условиях запрещается производить?
14. Как снять внешние и регулировочные характеристики выпрямителя при помощи измерительных приборов стенда?
15. Как определить масштабы по напряжению (току) и времени при осциллографировании сигналов при помощи осциллографа?

Таблица вариантов

№ варианта	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом	№ варианта	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом
1	0,9	30	4,3	13	0,7	30	4,3
2	0,9	45	4,3	14	0,7	45	4,3
3	0,9	60	4,3	15	0,7	60	4,3
4	0,9	30	0,3	16	0,7	30	0,3
5	0,9	45	0,3	17	0,7	45	0,3
6	0,9	60	0,3	18	0,7	60	0,3
7	0,8	30	4,3	19	0,8	30	4,3
8	0,8	45	4,3	20	0,8	45	0,3
9	0,8	60	4,3	21	0,8	60	0,3
10	0,8	30	0,3	22	0,8	30	0,3
11	0,8	45	0,3	23	0,9	45	0,3
12	0,8	60	0,3	24	0,9	60	4,3

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б, в, г для трехфазной мостовой схемы и угла α_1 ; подвариант Б – пункты 1 а, б, в, г для трехфазной схемы с нулевым выводом и угла α_1 ; подвариант В – пункты 1 а, б, в, г для трехфазной мостовой схемы и угла $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$.

2. При построении диаграмм принимать $x_d = \infty$.

Работа № 4
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ
ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы

Изучение характеристик и режимов работы управляемых выпрямителей при различных видах нагрузки.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Модуль измерительный», «Мультиметры», а также двухканальный осциллограф.

Описание лабораторной установки, порядок ее включения и выключения, а также запрещенные операции подробно описаны в работе № 3 части 1 учебного пособия.

Задание и методические указания

1. *Предварительное домашнее задание:*

а) изучить темы курса: «Управляемые выпрямители», «Непрерывный режим», «Прерывистый и граничный режимы» [1, с. 312–326; 2, с. 35–51], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) рассчитать и построить регулировочные характеристики для непрерывного и прерывистого режимов. При расчете принимать для непрерывного режима $x_d = \infty$, для прерывистых при работе на противо-ЭДС (ПЭДС) и на активное сопротивление – $x_d = 0$. При расчете можно воспользоваться уравнениями регулировочных характеристик:

для непрерывного режима

$$U = U_{d0} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

для прерывистого режима при активной нагрузке

$$U_d = \begin{cases} U_{d0} \cdot \cos \alpha & \text{при } 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{гр}} \\ U_{d0} \cdot \left[\frac{1 - \sin(\alpha - \pi/m)}{2 \cdot \sin(\pi/m)} \right] & \text{при } \alpha > \alpha_{\text{гр}} \end{cases}, \quad (2)$$

для прерывистого режима при работе на активную нагрузку с ПЭДС и широких управляющих импульсах

$$U_d = \begin{cases} E_{2m} & \text{при } 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{min}} \\ E_{2m} \cdot \cos(\alpha - \alpha_{\text{min}}) & \text{при } \alpha_{\text{min}} < \alpha < \frac{\pi}{2} + \alpha_{\text{min}} \end{cases}, \quad (3)$$

где m – пульсность схемы ($m = 3$ – для трехфазной нулевой схемы; $m = 6$ – для трехфазной мостовой схемы);

$\alpha_{\text{гр}}$ – граничный угол управления при работе выпрямителя на активную нагрузку (для $m = 3$, $\alpha_{\text{гр}} = 30^\circ$; для $m = 6$, $\alpha_{\text{гр}} = 60^\circ$);

$\alpha_{\text{мин}} = \pi / m$ – минимальный угол управления при работе выпрямителя на активную нагрузку с ПЭДС;

U_{d0} – среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке для неуправляемого выпрямителя (для $m = 3$, $U_{d0} = 1,17 E_2$; для $m = 6$, $U_{d0} = 2,34 E_2$);

E_{2m} – амплитуда ПЭДС (для $m = 3$, $E_{2m} = \sqrt{2} E_2$; для $m = 6$, $E_{2m} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} E_2$)

E_2 – действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора на холостом ходу;

в) найти граничный ток для заданных x_a , x_d , α . Граничный ток можно определить по формуле

$$I_{d.\text{гр}} = \frac{B \cdot U_2}{a \cdot x_a + x_d} \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где B , a – коэффициенты (для $m=3$ принять $B=0,46$ и $a=1$; $m=6$ принять $B=0,22$ и $a=2$);

г) рассчитать и построить внешние характеристики для заданных α , x_a , x_d при активно-индуктивной нагрузке и активно-индуктивной с ПЭДС. При построении для режима непрерывного тока воспользуйтесь формулой (2) описания к работе № 3, часть 1. Участки характеристик в области прерывистого тока построить по двум точкам, соответствующим холостому ходу и граничному току. Точка холостого хода определяется по регулировочной характеристике для прерывистого режима. Построения приведены в [1, с. 326; 2, с. 48]. Все характеристики построить в абсолютных единицах.

2. Экспериментальное исследование трехфазного выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:

а) собрать схему для исследования трехфазного выпрямителя, выполненного по мостовой схеме в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

При исследовании трехфазного выпрямителя, выполненного по нулевой схеме, необходимо все клеммы с гнезда X11 модуля «Тиристорный преобразователь» подключить к гнезду X7 (нулевой вывод трансформатора TV). Остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 1).

В табл. 1 приведены измерительные приборы, а в табл. 2 датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

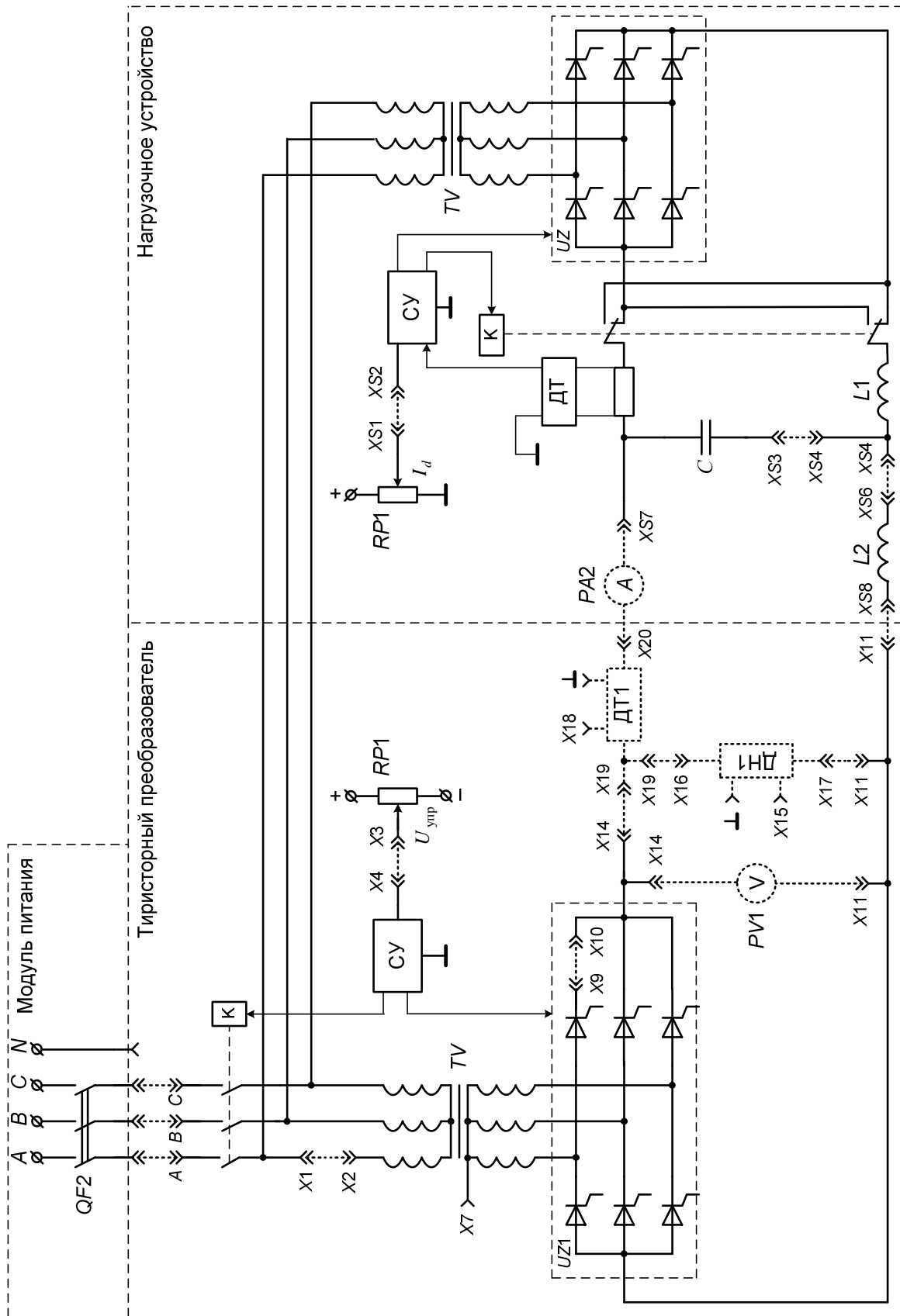


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования трехфазного управляемого выпрямителя, выполненного по мостовой схеме, при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	<i>PV1</i>	= 200 В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока I_d	<i>PA2</i>	–	Модуль измерительный

Таблица 2

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ1	Тиристорный преобразователь

Тумблеры *SA2* и *SA3* датчика напряжения ДН1 и тока ДТ1 в модуле «Тиристорный преобразователь» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. В модуле «Тиристорный преобразователь» тумблером *SA1* установить заданное значение x_a в соответствии с таблицей вариантов;

б) определить величину граничного тока $I_{d,гр}$ для заданного угла управления α_1 . Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ1 (канал *CH2* – гнездо X18, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ1) и датчику напряжения ДН1 (канал *CH1* – гнездо X15). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу №3, часть 1). Потенциометром *RP1* в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления α_1 (по прибору *P1*). Изменяя ток нагрузки I_d ручкой потенциометра *RP1* в модуле «Нагрузочное устройство», наблюдать с помощью осциллографа за формой выпрямленного тока. Зафиксировать величину граничного тока $I_{d,гр}$ с помощью амперметра;

в) снять осциллограммы тока i_d и напряжения u_d при токах $I_d = I_{d,гр}$, $I_d = 0,5I_{d,гр}$, $I_d = 2I_{d,гр}$. Определить и записать масштабы по времени, напряжению и току с учетом коэффициентов датчика тока и напряжения. Обратит внимание на изменение осциллограмм;

г) снять и построить внешнюю характеристику $U_d = F(I_d)$ при заданном значении α_1 . Для этого изменять ток нагрузки ручкой потенциометра *RP1* в модуле «Нагрузочное устройство» от минимально возможного до заданного значения тока I_d . При построении отметить точку, соответствующую граничному току $I_{d,гр}$.

Вместо точки холостого хода снять точку с минимально возможным значением I_d , а при построении экстраполировать внешние характеристики до точки холостого хода. Характеристики строить на том же графике, где предварительно были построены расчетные характеристики;

д) снять зависимость граничного тока $I_{d,гр}$ от угла управления α . Для этого уменьшая угол α от 90° до 0° с шагом 30 град, регулировать ток I_d так, чтобы сохранялся граничный режим, одновременно фиксировать $U_{d,гр}$. Построить зависимости $I_{d,гр} = F(\alpha)$ и $U_{d,гр} = F(I_{d,гр})$ на том же графике, где построены внешние характеристики. Определить максимальное значение граничного тока $I_{d,гр,max}$;

е) снять и построить регулировочные характеристики выпрямителя $U_d = F(\alpha)$ вблизи холостого хода при $I_d \approx 0,05$ А и в режиме непрерывного тока при заданном токе I_d . Регулировочную характеристику на холостом ходу снять нельзя, так как при отсутствии тока нагрузки после исчезновения управляющих импульсов тиристоры не удерживаются во включенном состоянии, поэтому характеристика снимается при токе $I_d \approx 0,05$ А. Характеристики снимать, изменяя угол α ручкой потенциометра $RP1$ в модуле «Тиристорный преобразователь» так, чтобы выпрямленное напряжение U_d изменялось в диапазоне от максимального значения до нуля. Экспериментальные характеристики строить на том же графике, где были построены расчетные характеристики.

Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания».

3. Экспериментальные исследования трехфазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку:

а) собрать схему для исследования трехфазного управляемого выпрямителя, при работе на активно-индуктивную нагрузку. Для этого в схеме, представленной на рис. 1, необходимо в модуле «Нагрузочное устройство» разъединить гнезда $XS3 - XS4$, $XS4 - XS6$ и установить перемычку между гнездами $XS5 - XS6$, подключив к выходу управляемого выпрямителя регулирующую активно-индуктивную нагрузку, активное сопротивление которой изменяется при помощи потенциометра $RP2$. Остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 1). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 3, часть 1);

б) повторить пункты 2 б, в, г, е, при этом вместо потенциометра $RP1$ модуля «Нагрузочное устройство» использовать потенциометр $RP2$.

Регулировочные характеристики снимать при двух постоянных значениях сопротивления нагрузки R_d : обеспечивающем режим, близкий к холостому ходу и минимально возможном. Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания», а затем $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

а) наименование и цель работы;

- б) предварительные расчеты и построения;
 - в) исходные данные, принципиальную силовую схему;
 - г) обработанные осциллограммы. Указать, чем отличаются осциллограммы для непрерывного и прерывистого режима и для разных видов нагрузки;
 - д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
 - е) экспериментально снятые и построенные характеристики;
 - ж) сравнение регулировочных и внешних характеристик при различных видах нагрузки;
- 3) выводы по работе:
- объяснить влияние режима работы на вид внешних и регулировочных характеристик;
 - объяснить влияние вида нагрузки на вид внешних и регулировочных характеристик;
 - объяснить влиянии угла управления на величину граничного тока.

Контрольные вопросы

1. Назовите режимы работы выпрямителя.
2. Что такое внешняя характеристика?
3. Как снимаются при выполнении работы внешние характеристики при различных видах нагрузки?
4. От чего зависит вид внешней характеристики?
5. Что такое регулировочная характеристика?
6. Как снимаются регулировочные характеристики при различных видах нагрузки?
7. От чего зависит вид регулировочной характеристики?
8. Что такое граничный ток $I_{d,гр}$ и граничный угол $\alpha_{гр}$?
9. От чего зависят $I_{d,гр}$ и $\alpha_{гр}$?
10. Как определить экспериментально $I_{d,гр}$ и $\alpha_{гр}$?
11. Можно ли снять регулировочную характеристику на холостом ходу? Обоснуйте ответ.
12. Что такое угол управления α и как он определяется при выполнении работы?
13. Чем отличаются временные диаграммы (осциллограммы) выпрямленного напряжения u_d и тока i_d в различных режимах при различных видах нагрузки?
14. Какие переключения нельзя делать при включенном автомате «Модуля питания»?

Таблица вариантов

№ варианта	m	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом	№ варианта	m	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом
1	3	0,9	45	4,3	13	3	0,7	45	4,3
2	6	0,9	60	4,3	14	6	0,7	60	4,3
3	3	0,9	75	4,3	15	3	0,7	75	4,3
4	6	0,9	45	0,3	16	6	0,7	45	4,3
5	3	0,9	60	4,3	17	3	0,7	60	4,3
6	6	0,8	75	4,3	18	6	0,8	75	0,3
7	3	0,8	45	4,3	19	3	0,8	45	0,3
8	3	0,8	60	4,3	20	3	0,8	60	0,3
9	3	0,8	75	4,3	21	3	0,8	75	0,3
10	6	0,8	45	0,3	22	6	0,8	45	0,3
11	6	0,9	60	0,3	23	6	0,9	60	0,3
12	3	0,9	75	0,3	24	3	0,9	75	4,3

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б; подвариант Б – пункты 1 а, в, г для активно-индуктивной нагрузки с ПЭДС; подвариант В – пункты 1 а, в, г для активно-индуктивной нагрузки.

2. При расчете принять: $E_2 = U_2 = 48$ В; $U_{T(ТО)} = 1,0$ В; $r_T = 0,05$ Ом. Остальные данные взять для соответствующего варианта из табл. 1 (см. работу № 3, часть 1).

3. При определении граничного тока принять $x_d = 63$ Ом.

Работа № 5
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОМПЛЕКТНОГО РЕКУПЕРИРУЮЩЕГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ

Цель работы

Изучение электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей однокомплектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Преобразователь частоты», «Модуль измерительный», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Описание лабораторной установки, а также порядок ее включения и выключения подробно описаны в работе № 3 части 1 учебного пособия.

Задание и методические указания

1. *Предварительное домашнее задание:*

а) изучить темы курса: «Управляемые выпрямители», «Непрерывный режим», «Энергетические показатели», «Ведомые инверторы», [1, с. 312–323, 327–332, 338–344; 2, с. 33–44, 52 – 55, 64 – 70], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) рассчитать и построить внешние характеристики для двух заданных по варианту углов управления α_1 и α_2 , принимая $x_d = \infty$. При построении воспользоваться формулой (2) описания к работе № 3;

в) рассчитать и построить регулировочную характеристику однокомплектного рекуперирующего преобразователя в непрерывном режиме для заданного тока нагрузки I_d . При расчете воспользоваться формулой (2) описания к работе № 3;

г) рассчитать и построить ограничительную характеристику преобразователя на том же графике, где построены внешние характеристики. Уравнение ограничительной характеристики

$$U_{d\max} = -U_{d0} \cdot \cos\delta_{\min} - a \cdot U_{T(TO)} + \left[\frac{x_a}{(2\pi/m)} - a \cdot (r_a + r_T) \right] \cdot I_d, \quad (1)$$

где δ_{\min} – минимальный угол, предоставляемый на выключение или восстановление управляющих свойств тиристора;

$a = 2$, $m = 6$ – коэффициенты для трехфазной мостовой схемы;

д) построить в масштабе друг под другом временные диаграммы вторичных ЭДС e_2 , инвертируемого напряжения u_d , тока нагрузки i_d (при $x_d = \infty$), тока вент-

ля i_a и напряжения на вентиле u_a с учетом заданных значений U_2 , α_2 , I_d и угла коммутации γ по аналогии с диаграммами, приведенными в [1, с. 343; 2, с. 68]. При построении принять $\gamma = 8^\circ$.

2. *Экспериментальное исследование рекуперировующего преобразователя, построенного по трехфазной мостовой схеме выпрямления, при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:*

а) собрать схему для исследования рекуперировующего преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 3, приведенном в работе № 3. При подключении измерительных приборов в схему можно не подключать мультиметр $PV1$, измеряющий действующее значение вторичного напряжения трансформатора U_2 , и амперметр $PA1$ для измерения среднего значения анодного тока I_a .

Тумблеры $SA2$ и $SA3$ датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 3, представленной в работе № 3. В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер $SA1$ в положение «1», соответствующее индуктивному сопротивлению рассеяния трансформатора $x_a = 4,3$ Ом.

Подключить осциллограф к датчику тока ДТ2 (канал $CH2$ – гнездо $X18$, корпус осциллографа соединить с гнездом « \perp » ДТ2) и датчику напряжения ДН2 (канал $CH1$ – гнездо $X15$) для осциллографирования выпрямленного напряжения u_d и тока i_d . Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 3, часть 1);

б) изучить переход от выпрямительного к инверторному режиму. Для этого необходимо изменять угол управления α потенциометром $RP1$ в модуле «Тиристорный преобразователь» и наблюдать изменение направления напряжения на нагрузке U_d , потоков мощности в цепи постоянного тока P_d и в сети P_1 при постоянном токе I_d , равном заданному значению. Обратит внимание на сохранение направления тока I_d ;

в) снять регулировочную $U_d = F(\alpha)$ и энергетические $P_1 = F(\alpha)$, $S_1 = F(\alpha)$, $P_d = F(\alpha)$, $\chi = F(\alpha)$, $\cos\varphi = F(\alpha)$, $\eta = F(\alpha)$ характеристики преобразователя при заданном токе нагрузки I_d . Для этого установить заданный ток нагрузки I_d ручкой потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство», и изменять угол управления α в диапазоне от 0 до 135 град. Фиксировать следующие величины и заносить их в табл. 1:

- α – угол управления преобразователя;
- $U_{1\phi}$, $I_{1\phi}$ – действующие значение фазного напряжения и тока соответственно, измеренные модулем «Измеритель мощности»;
- $P_{1\phi}$, $\cos\varphi$ – активная мощность фазы А и косинус преобразователя соответственно, измеренные модулем «Измеритель мощности»;

- U_d – среднее значение выпрямленного напряжения;
- I_d – среднее значение выпрямленного тока.

Таблица 1

α , град.										
$U_{1\phi}$, В										
$I_{1\phi}$, А										
$P_{1\phi}$, Вт										
$\cos\varphi$										
U_d , В										
I_d , А										
P_1 , Вт										
S_1 , В·А										
P_d , Вт										
χ										
η										

При снятии характеристик зафиксировать точки, когда $P_1 = 0$ и $P_d = 0$.
 Расчетные значения в табл. 1 определять по формулам (2) – (7).

Активная и полная мощности преобразователя, потребляемые из сети

$$P_1 = 3 \cdot P_{1\phi}, \quad S_1 = 3 \cdot U_{1\phi} \cdot I_{1\phi}. \quad (2)$$

Мощность нагрузки

$$P_d = U_d \cdot I_d. \quad (3)$$

Коэффициент мощности преобразователя при симметричной нагрузке

$$\chi = |P_1| / S_1. \quad (4)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя в режиме выпрямления, когда $U_d > 0$ и $P_1 > 0$,

$$\eta = P_d / P_1, \quad (5)$$

в режиме инвертирования, когда $U_d < 0$ и $P_1 < 0$,

$$\eta = P_1 / P_d, \quad (6)$$

в режиме перехода из одного режима в другой, когда $U_d < 0$, а $P_1 > 0$,

$$\eta = 0; \quad (7)$$

г) снять и построить внешние $U_d = F(I_d)$ и энергетические $P_1 = F(I_d)$, $S_1 = F(I_d)$, $P_d = F(I_d)$, $\chi = F(I_d)$, $\cos\varphi = F(I_d)$, $\eta = F(I_d)$ характеристики при заданных углах управления α_1 (выпрямительный режим) и α_2 (инверторный режим). Для этого изменять ток нагрузки I_d потенциометром $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство» при постоянстве угла управления. Фиксировать те же величины, что и в опыте 2 в, результаты занести в табл. 1. Сравнить экспериментальные характеристики с расчетными и нанести их на тот же рисунок;

д) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока нагрузки i_d при заданных углах управления α_1 и α_2 . Для этого в модуле «Тиристорный преобразователь» потенциометром $RP1$ установить заданные значения углов управления α (по прибору $P1$). Регулятором $PR1$ в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток нагрузки I_d . Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Определить масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков;

е) снять осциллограммы анодного напряжения u_a и тока i_a через вентиль при заданных углах управления α_1 и α_2 . Для этого переключить входы осциллографа к датчику току ДТ1 (канал $CH2$ – гнездо $X12$, корпус осциллографа соединить с гнездом « \perp » ДТ1) и датчику напряжения ДН1 (канал $CH1$ – гнездо $X9$). Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Проверить с помощью осциллографа соответствие углов α заданным;

ж) по осциллограмме напряжения на вентиле u_a , исследовать влияние тока нагрузки I_d и угла управления α на изменение угла δ , предоставляемого на выключение тиристора;

з) снять и построить ограничительную характеристику $U_{dmax} = F(I_d)$ при $\delta_{min} = const$. В лабораторной установке из условий надежности ограничены углы α_{max} , поэтому снять ограничительную характеристику для действительных значений δ_{min} не представляется возможным. Снятие и построение характеристики провести для угла $\delta = const$, существенно большего, чем действительное значение δ_{min} . Полученная характеристика будет ограничительной характеристикой с «запасом».

Точки характеристики получить следующим образом. Осциллограф подключить к вентилю (напряжение u_a). При токе $I_d = 0,1$ А установить максимально возможный угол α и замерить с помощью осциллографа угол δ . Увеличить ток I_d до 0,5 А и, уменьшая угол α , добиться того же значения δ . Повторить опыт при заданном значении тока I_d . По трем полученным точкам построить ограничительную характеристику преобразователя $U_{dmax} = F(I_d)$ и зависимость допустимого угла управления от нагрузки $\alpha_{max} = F(I_d)$. Ограничительную характеристику следует построить на том же графике, где построены внешние характеристики.

Выключить тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности», а затем автоматы $QF2$ «Модуля питания» и $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты и построения;
- в) исходные данные, принципиальную силовую схему;
- г) обработанные осциллограммы. Указать, чем отличаются осциллограммы для выпрямительного и инверторного режима;

д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

е) экспериментально снятые и построенные характеристики (регулируемые, внешние, энергетические и ограничительные). Указать область возможной работы инвертора с учетом построенной ограничительной характеристики;

ж) сравнение расчетных и экспериментальных регулировочных и внешних характеристик. Объяснить причины их расхождения;

з) выводы по работе:

– объяснить, чем вызваны отклонения внешних характеристик в области малых токов от расчетных;

– объяснить влияние угла управления α и тока нагрузки I_d на энергетические показатели рекуперирующего преобразователя (χ , $\cos\phi$, η);

– объяснить влияние тока нагрузки I_d и угла управления α на угол δ , предоставляемый на выключение тиристора.

Контрольные вопросы

1. Что такое ведомый инвертор?
2. Что такое однокомплектный рекуперирующий преобразователь?
3. Какой вид имеют внешняя и регулировочная характеристики ведомого инвертора в режиме непрерывного тока?
4. Что такое ограничительная характеристика ведомого инвертора?
5. Какие факторы и как влияют на наклон ограничительной характеристики?
6. Как снимаются внешние характеристики?
7. Как снимаются регулировочные характеристики?
8. Как снимается ограничительная характеристика?
9. Что такое опрокидывание инвертора?
10. Как изменяется направление потока мощности при переходе от выпрямительного к инверторному режиму?
11. Что такое коэффициент мощности преобразователя?
12. Как определить коэффициент мощности преобразователя экспериментально?
13. При каких условиях КПД равен нулю? Почему?
14. Как зависит КПД от угла регулирования?
15. Как зависит КПД от тока нагрузки?
16. Чем определяется угол сдвига в преобразователе?
17. Как определить КПД в выпрямительном и инверторном режимах?
18. Порядок включения и выключения лабораторной установки?
19. Какие переключения и при каких условиях запрещается производить?

Таблица вариантов

№ варианта	I_d , А	α_1 , град	α_2 , град	№ варианта	I_d , А	α_1 , град	α_2 , град
1	0,9	30	105	13	0,7	30	105
2	0,9	45	120	14	0,7	45	120
3	0,9	60	135	15	0,7	60	135
4	0,9	30	135	16	0,7	30	135
5	0,9	45	105	17	0,7	45	105
6	0,9	60	120	18	0,7	60	120
7	0,8	30	105	19	0,8	45	135
8	0,8	45	120	20	0,8	30	120
9	0,8	60	135	21	0,8	60	105
10	0,8	30	135	22	0,9	45	135
11	0,8	45	105	23	0,9	30	120
12	0,8	60	120	24	0,9	60	105

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б, г; подвариант Б – пункты 1 а, в; подвариант В – пункты 1 а, д.

2. При расчете принять $U_1 = 220$ В; $U_2 = 48$ В; $x_a = 4,3$ Ом; $r_a = 1,65$ Ом; $x_d = \infty$; $U_{T(T0)} = 1,0$ В; $r_T = 0,05$ Ом; $\delta_{\min} = 45^\circ$.

3. Все расчеты и построения выполняются для трехфазной мостовой схемы.

Работа № 6
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОМПЛЕКТНОГО РЕВЕРСИВНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы

Изучение характеристик двухкомплектного реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку и активно-индуктивную с противо-ЭДС.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Модуль измерительный», «Мультиметры», а также двухканальный осциллограф.

Описание лабораторной установки подробно описано в работе № 3 части 1 учебного пособия.

Порядок включения установки

1. Собрать силовую схему эксперимента для выполнения лабораторной работы.

2. В модуле «Нагрузочное устройство» перевести тумблер, управляющий контактором К1, в положение «В», ручку потенциометра $RP1$ перевести в крайнее левое положение и проверить наличие перемычки $XS1 - XS2$.

3. В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер $SA1$ в положение «1», соответствующее индуктивному сопротивлению рассеяния трансформатора $x_a = 4,3$ Ом. Ручку потенциометра $RP1$ установить в положение «5», проверить наличие перемычки между гнездами $X3 - X4$.

4. Включить автомат $QF1$ «Модуля питания стенда», включить автомат $QF2$ «Модуля питания».

5. В модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданный угол управления потенциометром $RP1$.

6. В модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток ручкой потенциометра $RP1$.

При включенном автомате $QF2$ «Модуля питания» запрещается переключать тумблер $SA1$ в модуле «Тиристорный преобразователь», изменять места включения измерительных модулей и производить другие пересоединения.

Порядок переключения комплектов вентиляей

1. Снизить ток нагрузки I_d до нуля (крайнее левое положение ручки потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство»).

2. В модуле «Тиристорный преобразователь» ручку потенциометра $RP1$ установить в положение «0», что соответствует отрицательному напряжению управления и подачи импульсов управления на комплект вентилей «Назад».

3. В модуле «Нагрузочное устройство» перевести тумблер, управляющий контактором $K1$, в положение «Н» (изменение знака ПЭДС в модуле «Нагрузочное устройство»). В результате на лицевой панели должен загореться зеленый светодиод «Н».

4. В модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданный угол управления потенциометром $RP1$.

5. В модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток ручкой потенциометра $RP1$. Обратить внимание на изменение направления тока в цепи нагрузки.

Порядок выключения установки

1. Снизить ток нагрузки I_d до нуля (крайнее левое положение ручки потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство»).

2. Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания».

3. Автомат $QF1$ «Модуля питания стенда» выключается только в конце работы.

При срабатывании защиты по току необходимо отключить автомат «Модуля питания», проверить схему, позвать преподавателя и при необходимости внести изменения, включить автомат «Модуля питания».

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса: «Реверсивные преобразователи», «Системы управления», [1, с. 345–361; 2, с. 70–90], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) построить и рассчитать регулировочные характеристики реверсивного преобразователя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя вместе с системой управления $U_d = F(U_{упр})$ в абсолютных единицах для непрерывного режима при заданной регулировочной характеристике системы импульсно-фазного управления (СИФУ), а также заданном токе нагрузки I_d и пульсности m .

Регулировочная характеристика СИФУ линейная (рис. 1). Угол наклона характеристики $(\Delta\alpha/\Delta U_{упр}) = 15$ град/В.

Расчет регулировочной характеристики реверсивного преобразователя выполнить по уравнению внешней характеристики для непрерывного режима

$$U_d = \pm(U_{d0} \cdot \cos \alpha - a \cdot U_{T(T0)}) - \left[a \cdot r_T + a \cdot r_a + \frac{x_a}{(2\pi/m)} \right] \cdot I_d; \quad (1)$$

в) рассчитать и построить внешние характеристики реверсивного преобразователя $U_d = F(I_d)$ в абсолютных единицах для углов управления α_1 (выпрямительный режим комплектов вентиля «Вперед» и «Назад») и α_2 (инверторный режим комплектов вентиля «Вперед» и «Назад»). Расчет выполнить по формуле (1);

г) рассчитать и построить ограничительные характеристики реверсивного преобразователя для заданного варианта. При расчете воспользоваться формулой (1), приведенной в работе № 5;

д) определить максимально допустимый угол α_{\max} и нанести ограничения на регулировочные характеристики, построенные в п. 1 б

$$\alpha_{\max} = \arccos \left(\frac{2 \cdot x_a \cdot I_d}{\sqrt{6} \cdot E_2} - \cos \delta_{\min} \right). \quad (2)$$

Определить по регулировочным характеристикам соответствующий угол α_{\min} , чтобы максимальное напряжение в выпрямительном режиме было не больше, чем в инверторном. Нанесите эти ограничения на регулировочные характеристики.

3. Экспериментальное исследование реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:

а) собрать схему для исследования реверсивного преобразователя, выполненного по мостовой схеме выпрямления, при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 2. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

При исследовании реверсивного преобразователя, выполненного по трехфазной нулевой схеме, необходимо все клеммы с гнезда X11 модуля «Тиристорный преобразователь» подключить к гнезду X7 (нулевой вывод трансформатора TV) и убрать переключку между гнездами X11 – X12, остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 2).

Внимание. Вторым комплектом вентиля UZ2 обязательно подключать, соединяя гнезда X10 с X13, т.к. между гнездами X10 и X14 установлен датчик тока, выполняющий функцию токовой защиты модуля «Тиристорный преобразователь». При неправильном подключении второго комплекта вентиля UZ2 (переключка между гнездами X13 и X14) последний оказывается включенным без защиты.

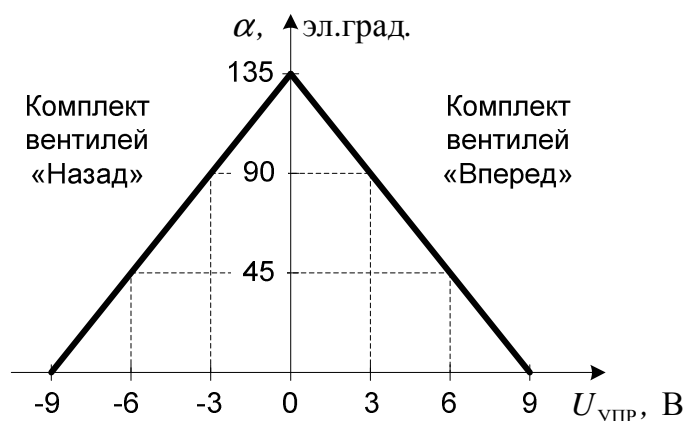


Рис. 1. Регулировочная характеристика системы управления реверсивного преобразователя

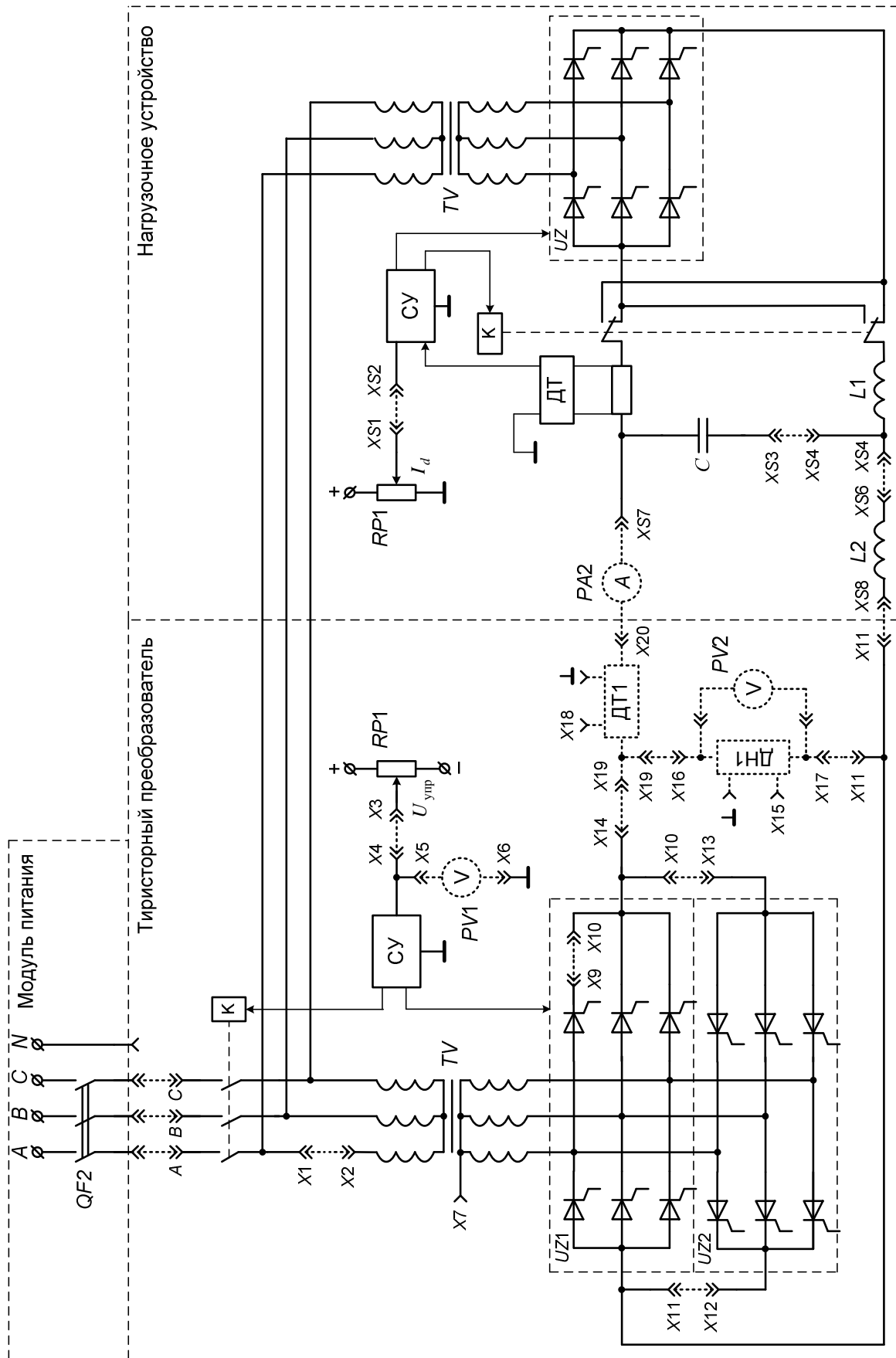


Рис. 2. Принципиальная схема для исследования реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

В табл. 1 приведены измерительные приборы, а в табл. 2 датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 2).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Напряжение управления $U_{упр}$	<i>PV1</i>	= 20 В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	<i>PV2</i>	= 200 В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока I_d	<i>PA2</i>	–	Модуль измерительный

Таблица 2

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ1	Тиристорный преобразователь

Тумблеры *SA2* и *SA3* датчика напряжения ДН1 и тока ДТ1 в модуле «Тиристорный преобразователь» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер *SA1* в положение «1», соответствующее индуктивному сопротивлению рассеяния трансформатора $x_a = 4,3$ Ом;

б) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока i_d реверсивного преобразователя для заданного тока нагрузки I_d и углов управления $\alpha_B = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентилей «Вперед» в выпрямительном и инверторном режимах), а также $\alpha_H = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентилей «Назад» в выпрямительном и инверторном режимах).

Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ1 (канал *CH2* – гнездо X18, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ1) и датчику напряжения ДН1 (канал *CH1* – гнездо X15). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Потенциометром *RP1* в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления при работе комплекта вентилей «Вперед» $\alpha_B = \alpha_1$ (по прибору *P1*). Потенциометром *RP1* в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданное значение тока нагрузки I_d .

Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Повторить аналогичные действия для угла управления $\alpha_B = \alpha_2$.

Проделать необходимые операции, указанные в порядке переключения комплектов вентиляей, снять осциллограммы тока i_d и напряжения u_d для комплекта вентиляей «Назад» и тех же углах управления α_1 и α_2 . Определить масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков;

б) снять и построить регулировочную характеристику системы управления $\alpha = F(U_{\text{упр}})$, а также регулировочные характеристики реверсивного преобразователя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя с системой управления $U_d = F(U_{\text{упр}})$. Характеристики снять вблизи холостого хода при малом токе $I_d \approx 0,05$ А и в непрерывном режиме при заданном токе нагрузки I_d . Величина тока нагрузки задается потенциометром $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство». Смена комплектов вентиляей осуществляется согласно инструкции, приведенной в начале лабораторной работы в разделе «Порядок переключения комплектов вентиляей». При эксперименте вначале увеличивать угол управления α от 0 до 135 эл. град. для комплекта вентиляей «Вперед», а затем переключить комплект вентиляей и изменять α в том же диапазоне. Фиксировать величины U_d , α и $U_{\text{упр}}$, занося их в таблицу. Сравнить экспериментальные и расчетные характеристики, построив их на одном рисунке;

в) снять и построить внешние характеристики реверсивного преобразователя для заданных значений углов управления $\alpha_B = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентиляей «Вперед» в выпрямительном и инверторном режимах), а также $\alpha_H = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентиляей «Назад» в выпрямительном и инверторном режимах). Для этого потенциометром $RP1$ изменять ток нагрузки I_d в модуле «Нагрузочное устройство» от минимально возможного до заданного значения. Сравнить экспериментальные характеристики с расчетными, построив их на одном рисунке.

Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания».

3. Экспериментальное исследование реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку:

а) собрать схему для исследования реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Для этого в схеме, представленной на рис. 2, необходимо в модуле «Нагрузочное устройство» разъединить гнезда $XS3 - XS4$, $XS4 - XS6$ и установить перемычку между гнездами $XS5 - XS6$, подключив к выходу реверсивного тиристорного преобразователя регулирующую активно-индуктивную нагрузку, активное сопротивление которой изменяется при помощи потенциометра $RP2$. Остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 2). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Включить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

б) снять и построить регулировочные характеристики: реверсивного преобразователя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя вместе с системой управления $U_d = F(U_{\text{упр}})$ при активно-индуктивной нагрузке. Регулировочные ха-

рактеристики снимать при двух значениях сопротивления нагрузки R_d , обеспечивающих режим, близкий к холостому ходу (максимально возможное сопротивление), и режим непрерывного тока (при минимально возможном R_d). Активное сопротивление нагрузки регулировать потенциометром $RP2$ в модуле «Нагрузочное устройство». Угол управления α изменять в диапазоне от 0 до 135 град. сначала для комплекта вентиляей «Вперед», а затем для комплекта вентиляей «Назад» в том же диапазоне. Построить экспериментальные характеристики на одном рисунке вместе с характеристиками п. 2 б;

в) снять осциллограммы напряжения u_d и тока i_d при $\alpha_B = \alpha_1$ и $\alpha_H = \alpha_1$ (при минимально возможном R_d). Записать масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков. Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания», а затем $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты и построения;
- в) исходные данные, принципиальную силовую схему;
- г) обработанные осциллограммы. Указать, чем отличаются осциллограммы для выпрямительного и инверторного режима комплектов вентиляей «Вперед» и «Назад»;
- д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- е) экспериментально снятые и построенные характеристики (регулируемые и внешние);
- ж) сравнение расчетных и экспериментальных регулировочных и внешних характеристик. Объяснить причины их расхождения;
- з) выводы по работе:
 - указать причины отличий регулировочных характеристик, снятых при различных видах нагрузки (активно-индуктивной и ПЭДС);
 - объяснить влияние тока нагрузки I_d на вид регулировочных характеристик;
 - пояснить, почему при работе на активно-индуктивную нагрузку для переключения групп достаточно изменить знак напряжения управления, а при работе на ПЭДС этого недостаточно.

Контрольные вопросы

1. Почему в реверсивном преобразователе предусматривается два комплекта вентиляей?
2. В чем отличие совместного и отдельного управления?
3. Каковы отличительные признаки силовых схем при отдельном и совместном управлении?

4. Чем отличаются системы управления при совместном и раздельном управлении?

5. Как располагаются внешние характеристики при различных способах согласования?

6. Каков вид регулировочных характеристик реверсивного преобразователя при различных формах опорных напряжений СИФУ и различных способах согласования?

7. Почему применяют нелинейное согласование характеристик?

8. Почему при раздельном управлении при $U_{упр}$ угол управления α_0 должен быть больше 90° ?

9. Для чего вводятся ограничения в регулировочной характеристике системы управления и в регулировочной характеристике всего преобразователя вместе с системой управления?

10. Как снимаются регулировочные и внешние характеристики реверсивного преобразователя?

11. Порядок включения, смены комплектов вентилях и выключения лабораторной установки. Какие переключения, и при каких условиях запрещается производить?

Таблица вариантов

№ варианта	m	I_d, A	$\alpha_1,$ град	$\alpha_2,$ град	№ варианта	m	I_d, A	$\alpha_1,$ град	$\alpha_2,$ град
1	3	0,9	45	135	13	3	0,7	45	135
2	6	0,9	60	120	14	6	0,7	60	120
3	3	0,9	75	105	15	3	0,7	75	105
4	6	0,9	30	135	16	6	0,7	30	135
5	3	0,9	45	120	17	3	0,7	45	120
6	6	0,9	60	105	18	6	0,7	60	105
7	3	0,8	45	135	19	3	0,8	45	135
8	6	0,8	60	120	20	6	0,8	60	120
9	3	0,8	75	105	21	3	0,8	75	105
10	6	0,8	30	135	22	6	0,9	30	135
11	3	0,8	45	120	23	3	0,9	45	120
12	6	0,8	60	105	24	6	0,9	60	105

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б; подвариант Б – пункты 1 а, в; подвариант В – пункты 1 а, б, д.

2. При расчете принять $E_2 = 48 В$; $x_a = 4,3 Ом$; $r_a = 1,65 Ом$; $x_d = \infty$; $U_{T(ТО)} = 1,0 В$; $r_T = 0,05 Ом$; $\delta_{min} = 45^\circ$.

Работа № 7
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
И СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Изучение характеристик транзисторных преобразователей и стабилизаторов постоянного напряжения, работающих в импульсном режиме, выполненных на биполярных, полевых и *IGBT* транзисторах. Сравнение ключевого режима работы транзисторов различного типа при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Преобразователь постоянного напряжения», «Модуль измерительный», «Мультиметры», а также двухканальный осциллограф.

Установка является универсальной, на ней можно производить исследования преобразователя постоянного напряжения, а также импульсного стабилизатора постоянного напряжения. В качестве регулирующего элемента может быть применен любой из существующих типов транзисторов – биполярный, полевой и *IGBT*, что позволяет сравнить эти транзисторы при их работе в ключевом режиме.

Лицевая панель модуля «Преобразователь постоянного напряжения» представлена на рис. 1. На ней изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы. Силовая часть схемы состоит из источника питания ИП, на выходе которого включен конденсатор фильтра $C_{\text{ф}}$, силовых транзисторных ключей $VT1$, $VT2$ и $VT3$, диода VD , шунтирующего активно-индуктивную нагрузку $R_{\text{н}}$, $L_{\text{н}}$. Параллельно резистору $R_{\text{н}}$ с помощью тумблера $SA3$ может подключаться конденсатор $C_{\text{н}}$. Резистор $R_{\text{н}}$ выполнен регулируемым. Напряжение на выходе источника питания ИП регулируется с помощью потенциометра $RP1$.

Система управления СУ выдает на выходе управляющие импульсы, подаваемые на входы силовых транзисторов. Частота управляющих импульсов (5 – 10 кГц) изменяется тумблером $SA1$.

В режиме «Регулирование постоянного напряжения» с помощью преобразователя постоянного напряжения тумблер $SA2$ переключается в положение «Рег». При этом длительность управляющих импульсов, а следовательно и напряжение на нагрузке регулируется потенциометром $RP2$. Относительная длительность включения транзисторов – коэффициент заполнения γ измеряется прибором $PA1$, установленным на лицевой панели (см. рис. 1).

В режиме «Стабилизация постоянного напряжения» тумблер $SA2$ переключается в положение «Стаб». При этом величина стабильного выходного напряжения также устанавливается потенциометром $RP2$.

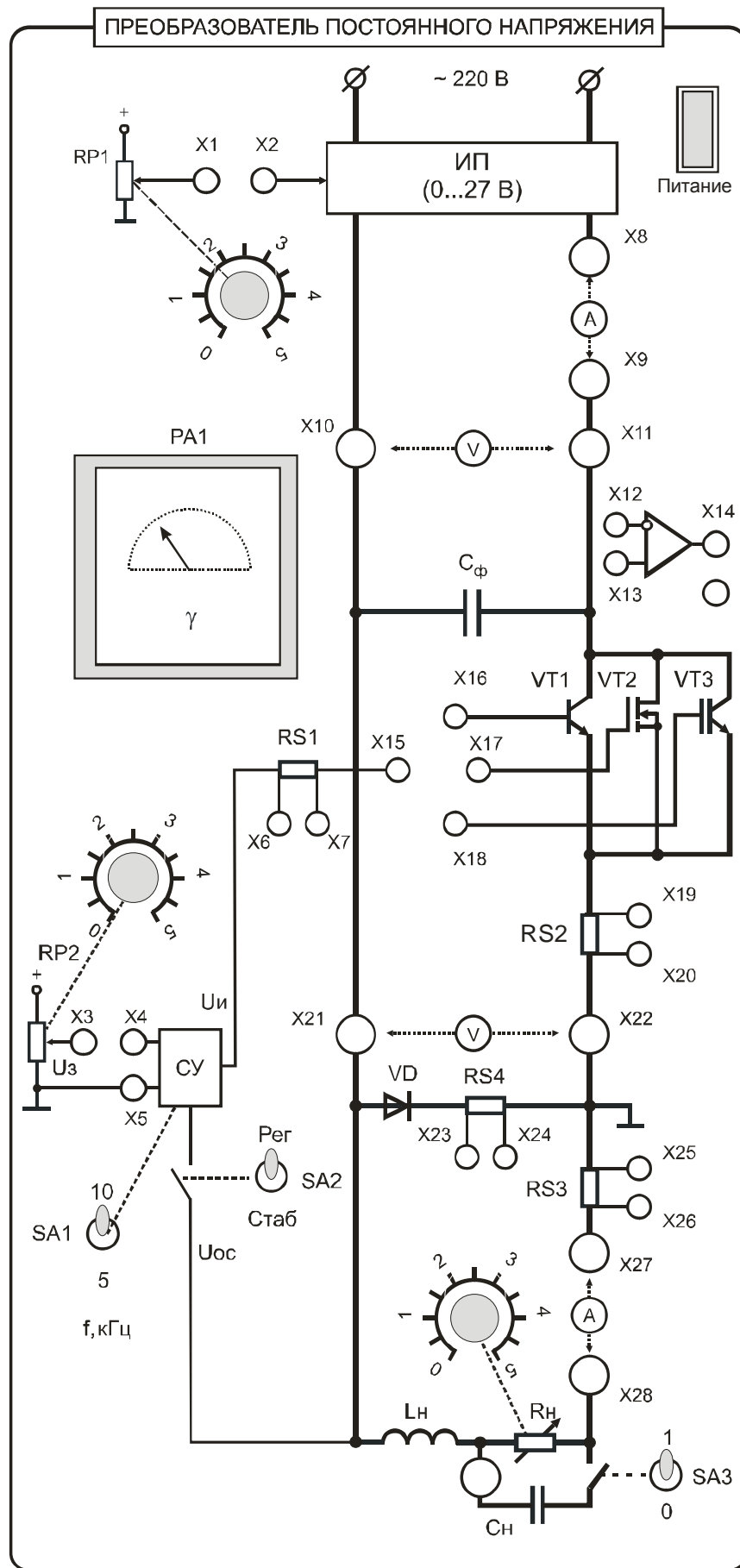


Рис. 1. Модуль «Преобразователь постоянного напряжения»

Для осциллографирования тока на входе силового транзистора установлен шунт $RS1 = 10 \text{ Ом}$. Для осциллографирования токов силовых транзисторов (эмиттера, истока) i_{VT} , нагрузки i_H и диода i_D установлены шунты ($RS2$, $RS3$ и $RS4$). Сопротивления этих шунтов 1 Ом .

Внимание! Земля (корпус) осциллографа должна быть постоянно приближена к общей точке соединения $RS2$, $RS3$, $RS4$, обозначенной « \perp ». Поэтому корпус осциллографа « \perp » последовательно подключается к гнездам $X20$, $X24$, $X25$ при измерении соответствующих токов. При применении двухканального осциллографа вход канала $CH1$ используется для измерения токов, а вход канала $CH2$, подключаемый через выносной делитель ($k_d = 10$), используется для измерения напряжений в схеме. При указанном подключении осциллограмма тока нагрузки i_H имеет отрицательную полярность. Это нужно учесть, указывая направление оси i на осциллограмме. При подаче сигналов с шунтов через инструментальный усилитель (гнезда $X12 - X14$), расположенный на панели, осциллограммы могут быть сориентированы правильно. При измерении напряжений осциллограммы могут быть правильно сориентированы с помощью кнопки $CH2 INV$, расположенной на лицевой панели осциллографа.

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить и повторить темы курса: «Ключевой режим работы транзисторов», «Преобразователи постоянного напряжения», «Стабилизаторы» [1, с. 210–219, 371–384, 485–487; 3, с. 4–19, 138–141], содержание данной работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы;

б) для преобразователя постоянного напряжения рассчитать и построить регулировочную характеристику $U_H = F(\gamma)$ при заданном напряжении на входе U_d

$$U_H = \gamma \cdot U_d.$$

Здесь U_H – напряжение на нагрузке; γ – коэффициент заполнения;

в) определить напряжение на нагрузке U_H при заданных значениях γ и U_d , а также сопротивление нагрузки R_H при известном среднем значении тока нагрузки I_H ;

г) определить коэффициент пульсаций для заданных значений напряжения на входе U_d , тока нагрузки I_H , коэффициента заполнения γ и частоты широтно-импульсной модуляции (ШИМ) $f_{\text{ШИМ}}$

$$q = \frac{\Delta I_H}{I_H} = \frac{U_d \cdot \gamma \cdot (1 - \gamma)}{2 \cdot L_H \cdot f_{\text{ШИМ}} \cdot I_H},$$

где L_H – индуктивность нагрузки;

д) построить в масштабе диаграммы напряжений на нагрузке u_H и на транзисторном ключе u_{VT} , а также токов через транзисторный ключ i_{VT} , нагрузку i_H и через диод i_D при заданных значениях U_d , γ , I_H и $f_{\text{ШИМ}}$. Для упрощения принять, что

ток нагрузки нарастает и спадает по линейному закону, а падение напряжения на транзисторе VT равно нулю;

е) для импульсного стабилизатора постоянного напряжения рассчитать и построить зависимости $U_H = F(U_d)$, $\gamma = F(U_d)$ при заданном значении напряжения на нагрузке U_H . Принять при этом, что КПД стабилизатора равен 1.

2. Экспериментальное исследование преобразователя постоянного напряжения:

а) собрать схему для исследования преобразователя постоянного напряжения в соответствии с рис. 2. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 2).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Напряжение на входе U_d	$PV1$	= 200 В	Мультиметры
Ток на входе I_d	$PA1$	–	Модуль измерительный
Напряжение на нагрузке U_H	$PV2$	= 200 В	Мультиметры
Ток нагрузки I_H	$PA2$	–	Модуль измерительный

Гнездо $X15$ соединить с $X17$, подключив в схему полевой транзистор $VT2$. Тумблером $SA1$ установить заданную частоту ШИМ $f_{ШИМ}$ в соответствии с таблицей вариантов. Тумблер $SA2$ установить в положение «Рег», а $SA3$ в положение «0» (конденсатор C_H отключен). Ручки потенциометров $RP1$, $RP2$ и реостата R_H установить в положение «0». Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. Включить автомат $QF1$ «Модуля питания стенда», а затем переключатель питания модуля «Преобразователь постоянного напряжения»;

б) снять осциллограммы напряжения на транзисторном ключе u_{VT} и тока через транзистор i_{VT} . Для этого установить заданные значения напряжения на входе U_d и коэффициента заполнения γ ручкой потенциометра $RP1$ и $RP2$ соответственно. Ручкой реостата R_H по амперметру $PA2$ установить заданное значение тока нагрузки I_H . Канал $CH1$ осциллографа подключить к шунту $RS2$ («+» – гнездо $X19$, корпус осциллографа « \perp » – гнездо $X20$), а канал $CH2$ – к гнезду $X11$ (напряжение на транзисторном ключе). Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Определить масштабы по напряжению, току и времени;

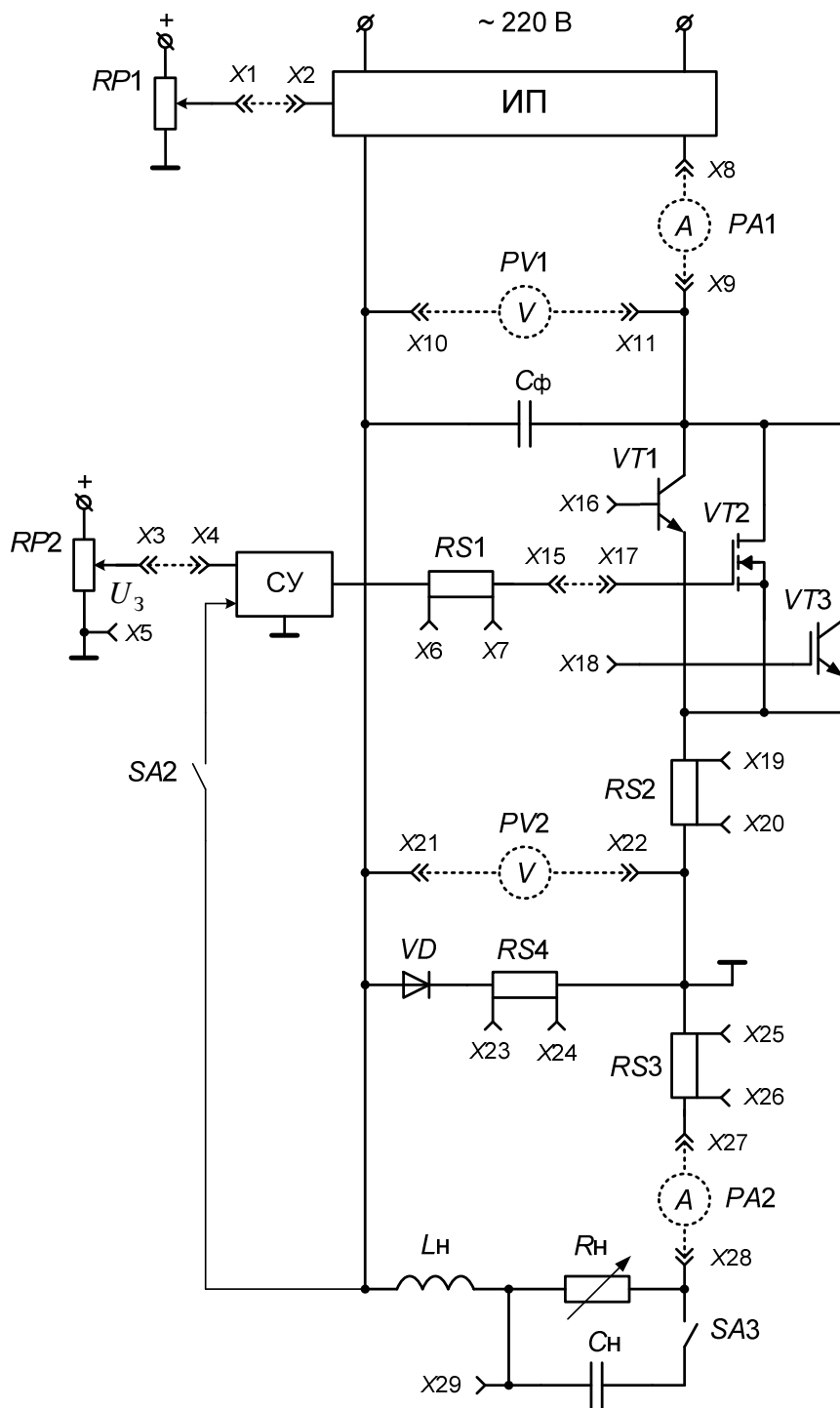


Рис. 2. Принципиальная схема для исследования преобразователя постоянного напряжения

в) снять осциллограммы напряжения на нагрузке u_H и тока через диод i_D при тех же заданных значениях U_d , γ и I_H . Для этого канал $CH1$ осциллографа подключить к шунту $RS4$ («+» – гнездо $X23$, корпус осциллографа « \perp » – гнездо $X24$), а канал $CH2$ – к гнезду $X21$ (напряжение на нагрузке). Для получения положительного отклонения напряжения u_H нажать кнопку $CH2 INV$ на осциллографе. Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы;

г) снять осциллограммы напряжения на нагрузке u_H и тока нагрузки i_H при тех же заданных значениях U_d , γ и I_H . Для этого канал $CH1$ осциллографа подключить к шунту $RS3$ («+» – гнездо $X25$, корпус осциллографа « \perp » – гнездо $X26$), а канал $CH2$ – к гнезду $X21$ (напряжение на нагрузке). Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. По осциллограмме i_H определить в каком режиме работает схема (непрерывный или прерывистый ток в нагрузке);

д) исследовать влияние частоты ШИМ преобразователя $f_{\text{ШИМ}}$ на коэффициент пульсаций q тока нагрузки I_H . Для этого переключить канал $CH1$ осциллографа на открытый вход « AC » (переменная составляющая входного сигнала). Замерить двойную амплитуду пульсаций тока нагрузки ΔI_H . Определить коэффициент пульсаций $q = \Delta I_H / (2 \cdot I_H)$, сравнив его с расчетным значением (см. п. 1 г). Переключить тумблер $SA1$ в другое положение и снова определить коэффициент пульсаций q при другой частоте ШИМ $f_{\text{ШИМ}}$;

е) подключить емкость сглаживающего фильтра C_H тумблером $SA3$ и посмотреть осциллограммы u_H и i_H при тех же заданных значениях U_d , γ , I_H и $f_{\text{ШИМ}}$. Обратить внимание на то, что формы кривых u_H и i_H практически не изменяются. Снимите также осциллограммы напряжения на резисторе R_H при подключенном и отключенном конденсаторе C_H ;

ж) снять регулировочную $U_H = F(\gamma)$ и энергетические $P_d = F(\gamma)$, $P_H = F(\gamma)$, $\eta = F(\gamma)$ характеристики преобразователя при постоянном значении сопротивления нагрузки R_H и заданных U_d и $f_{\text{ШИМ}}$. Сопротивление R_H установить по заданной точке: коэффициенту заполнения γ и току нагрузки I_H . Изменяя γ ручкой потенциометра $RP2$ в диапазоне от нуля до максимально возможного значения, фиксировать показания U_d , I_d , U_H , I_H . Показания занести в таблицу.

Энергетические показатели рассчитать по следующим формулам: мощность на входе – $P_d = U_d \cdot I_d$, мощность на нагрузке – $P_H = U_H \cdot I_H$, КПД – $\eta = P_H / P_d$. Экспериментальную регулировочную характеристику $U_H = F(\gamma)$ нанести на предварительно построенный график с расчетной характеристикой;

з) снять внешнюю $U_H = F(I_H)$ и энергетические $P_d = F(I_H)$, $P_H = F(I_H)$, $\eta = F(I_H)$ характеристики при постоянном коэффициенте заполнения γ для заданных U_d и $f_{\text{ШИМ}}$. Для этого потенциометром $RP2$ установить заданный по варианту коэффициент заполнения γ . Изменяя сопротивление нагрузки реостатом R_H , фиксировать показания U_d , I_d , U_H , I_H . Показания занести в таблицу, построить характеристики.

3. Экспериментальное исследование импульсного стабилизатора постоянного напряжения:

а) собрать схему импульсного стабилизатора постоянного напряжения (см. рис. 2). Для этого переключить тумблер $SA2$ в положение «Стаб», замкнув тем самым цепь обратной связи по напряжению;

б) снять зависимости (в замкнутой системе) $U_H = F(U_d)$, $\gamma = F(U_d)$ при постоянном напряжении задания U_3 и сопротивлении нагрузки R_H . Для этого ручкой потенциометра $RP1$ и $RP2$ установить требуемые значения напряжения U_d и U_H

соответственно согласно таблице вариантов. При выставленных значениях U_d и U_H установить заданный ток нагрузки I_H реостатом R_H и на протяжении всего опыта не трогать положение ручки потенциометра R_H . Изменяя напряжение U_d на входе от нуля до максимально возможного значения, фиксировать показания U_d , U_H и γ . Показания занести в таблицу, построить характеристики;

в) снять внешнюю $U_H = F(I_H)$ и энергетическую $\eta = F(I_H)$ характеристики стабилизатора, при неизменном напряжении задания U_3 и заданных U_d и $f_{\text{ШИМ}}$. Для этого потенциометром $RP1$ и $RP2$ установить заданные по варианту напряжения U_d и U_H соответственно. Изменяя сопротивление нагрузки реостатом R_H , фиксировать показания U_d , I_d , U_H , I_H . Показания занести в таблицу, построить характеристики.

4. Экспериментальное исследование транзисторных ключей при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом:

а) при работе стабилизатора в режиме непрерывного тока снять осциллограммы напряжения на ключе u_{VT} и тока через ключ i_{VT} для трех типов транзисторов (биполярного, полевого и $IGBT$) для заданных по варианту значений U_d , U_H и $f_{\text{ШИМ}}$. Для этого сначала установить переключку между гнездами $X15 - X16$, подключив выход системы управления СУ к биполярному транзистору. Канал $CH1$ осциллографа подключить к шунту $RS2$ («+» – гнездо $X19$, корпус осциллографа « \perp » – гнездо $X20$), а канал $CH2$ – к гнезду $X11$ (напряжение на транзисторном ключе). Зарисовать осциллограммы для биполярного транзистора $VT1$. Прodelать аналогичные действия для других типов транзисторов, последовательно переключая выход СУ к входам $VT2$ и $VT3$. Обратит особое внимание на начало и конец импульса тока;

б) снять осциллограммы токов управления для трех типов транзисторов и напряжения на нагрузке u_H при заданных по варианту значениях U_d , U_H и $f_{\text{ШИМ}}$. Для этого канал $CH1$ осциллографа подключить к шунту $RS1$ («+» – гнездо $X6$, корпус осциллографа « \perp » – гнездо $X7$), а канал $CH2$ – к гнезду $X21$ (напряжение на нагрузке u_H). Для правильного отклонения напряжения u_H нажать кнопку $CH2 INV$ на осциллографе. Зарисовать осциллограммы для всех типов транзисторов. Обратит особое внимание на начало и конец импульса тока управления транзисторов и фронтов на нагрузке. По снятым осциллограммам для биполярного транзистора показать время рассасывания зарядов;

в) определить КПД для трех типов транзисторных ключей при заданных по варианту значениях U_d , U_H и $f_{\text{ШИМ}}$. Для этого переключать переключку на входах транзисторов (см. рис. 2), одновременно фиксируя значения U_d , I_d , U_H , I_H . Рассчитать КПД, сравнить результаты;

г) повторить пункт 4 в) при другой частоте ШИМ.

Выключить переключатель питания модуля «Преобразователь постоянного напряжения», а затем автомат $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты и построения;
- в) исходные данные, принципиальную силовую схему установки;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- е) экспериментально снятые и построенные характеристики (регулируемые, внешние и энергетические);
- ж) определение коэффициента стабилизации и выходного сопротивления стабилизатора, по зависимостям $U_H = F(U_d)$, $U_H = F(I_H)$:

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_d / U_d}{\Delta U_H / U_H} \text{ при } I_H = const ;$$

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_H}{\Delta I_H} \text{ при } U_d = const .$$

з) выводы по работе:

- пояснить влияние частоты ШИМ преобразователя $f_{ШИМ}$ на коэффициент пульсаций тока нагрузки q ;
- объяснить влияние коэффициента заполнения γ на КПД преобразователя постоянного напряжения;
- объяснить влияние тока нагрузки I_H на вид внешних и энергетических характеристик ППН и стабилизатора;
- сравнение показателей стабилизаторов с транзисторными ключами различных типов по КПД и анализ причин отличий;
- оценка влияния частоты ШИМ на КПД стабилизатора с различными транзисторными ключами;
- сравнение форм токов и напряжений в транзисторных ключах различных типов и пояснение причин отличий.

Контрольные вопросы

1. Сравните ключевой и линейный режимы работы транзистора.
2. Преимущества ключевого режима.
3. Как определить потери мощности в транзисторном ключе? Из каких составляющих складываются суммарные потери мощности?
4. Преимущества и недостатки импульсных и непрерывных стабилизаторов.
5. Что такое регулировочная и внешняя характеристика преобразователя постоянного напряжения? Как вид они имеют?
6. До какого предела можно уменьшать напряжение источника питания, чтобы напряжение на нагрузке стабилизатора еще могло оставаться стабильным?
7. На что влияет изменение частоты ШИМ?

8. Как определить коэффициент пульсаций тока нагрузки?
9. Как определить КПД стабилизатора?
10. Как снять осциллограммы токов и напряжений в схеме?
11. На что влияет подключение конденсатора C_H ?
12. Как подключать входы двухканального осциллографа при осциллографировании токов и напряжений?
13. На что влияет изменение типа транзисторов?

Таблица вариантов

№ варианта	$f_{\text{ШИМ}}$, кГц	U_d , В	γ	I_H , А	U_H , В (для стабилизатора)
1	5	27	0,8	1,2	20
2	10	27	0,7	1,0	18
3	5	27	0,6	0,9	16
4	10	27	0,5	0,8	12
5	5	27	0,4	0,7	10
6	10	26	0,8	1,0	18
7	5	26	0,7	0,9	16
8	10	26	0,6	0,8	14
9	5	26	0,5	0,7	12
10	10	26	0,4	0,6	10
11	5	25	0,8	0,9	13
12	10	25	0,7	0,8	15
13	5	25	0,6	0,7	17
14	10	25	0,5	0,6	19
15	5	25	0,4	0,5	21
16	10	24	0,8	0,8	10
17	5	24	0,7	0,7	12
18	10	24	0,6	0,6	14
19	5	24	0,5	0,5	16
20	10	24	0,4	0,4	18
21	5	23	0,8	1,0	17
22	10	23	0,7	0,9	19
23	5	23	0,6	0,8	15
24	10	23	0,5	0,7	13

Примечания:

1. При выполнении предварительного домашнего задания студенты, получившие подвариант А выполняют п. 1 а, б, д; подвариант Б – п. 1 а, в, г, д; подвариант В – п. 1 а, д, е.

2. Индуктивность нагрузки $L_H = 2,9$ мГн.

Работа № 8
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА
НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей трехфазного автономного инвертора напряжения (АИН).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Преобразователь частоты», «Нагрузка», «Модуль питания», «Тиристорный преобразователь», «Модуль измерительный», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Модуль «Преобразователь частоты» обеспечивает преобразование переменного напряжения 220 В с частотой 50 Гц в трехфазное напряжение с регулируемыми значениями напряжения и частоты.

Лицевые панели модулей «Преобразователь частоты» и «Нагрузка» представлены на рис. 1, 2 соответственно. Модуль «Преобразователь частоты» (см. рис. 1) содержит:

- преобразователь частоты EI-MINI-LP2;
- силовые гнезда для подачи однофазного входного напряжения A и N и снятия выходного напряжения $A1$, $B1$ и $C1$;
- силовые гнезда выпрямленного напряжения U_d : «+» гнездо $X5$ и «-» – $X6$;
- потенциометр задания сигнала управления $RP1$ для одновременного регулирования частоты и величины выходного напряжения;
- кнопку $SB1$ «Сброс» для сброса ошибки после срабатывания защиты;
- переключатель $SA1$, изменяющий чередование фаз (направление вращения);
- частотомер для измерения частоты на выходе АИН;
- светодиоды, сигнализирующие подачу питания, нормальную работу и срабатывание защиты;
- датчик напряжения (ДН) и тока (ДТ) для осциллографирования и измерений напряжений и токов в схеме.

Питание модуля осуществляется от сети переменного тока через разделительный трансформатор TV , обеспечивающий потенциальную развязку от сети.

Модуль «Преобразователь частоты» состоит из двух звеньев (см. рис. 1). Первое звено преобразователя частоты (ПЧ) – неуправляемый выпрямитель на диодах ($UZ1$), выполненный по однофазной мостовой схеме. Второе звено – трехфазный АИН, выполненный на $IGBT$ -транзисторах ($UZ2$). На входе $UZ2$ включен емкостной фильтр.

В данной работе изучается второе звено – трехфазный автономный инвертор напряжения.

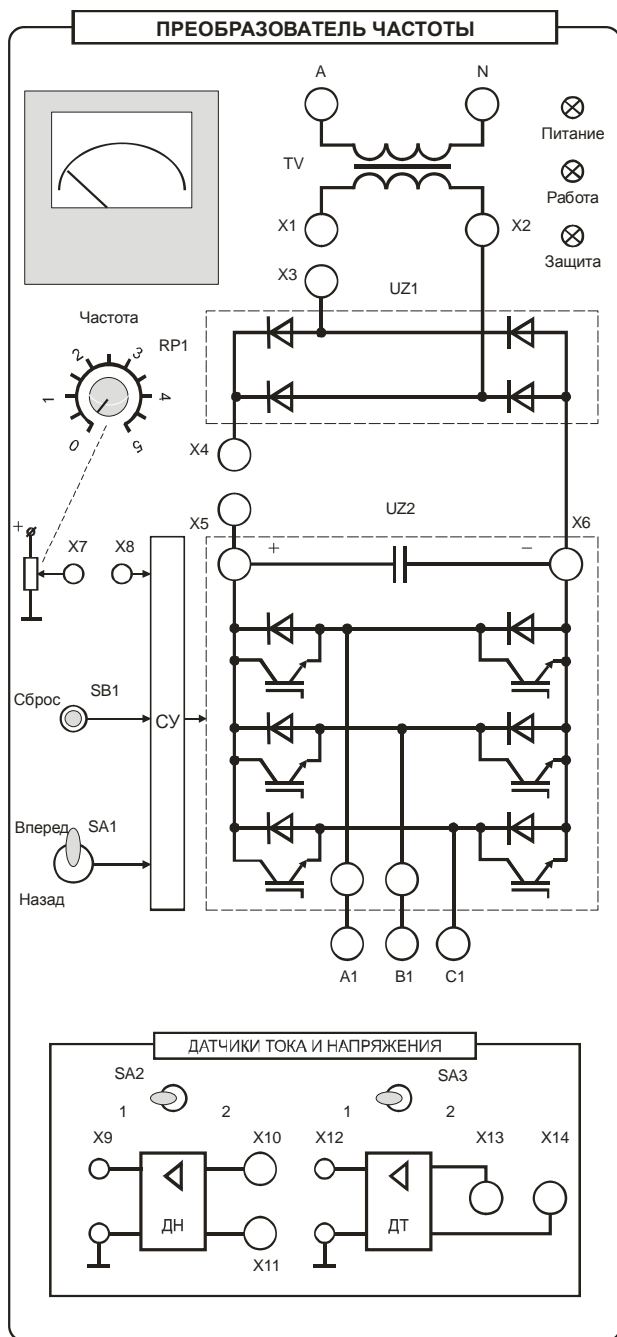


Рис. 1. Модуль «Преобразователь частоты»

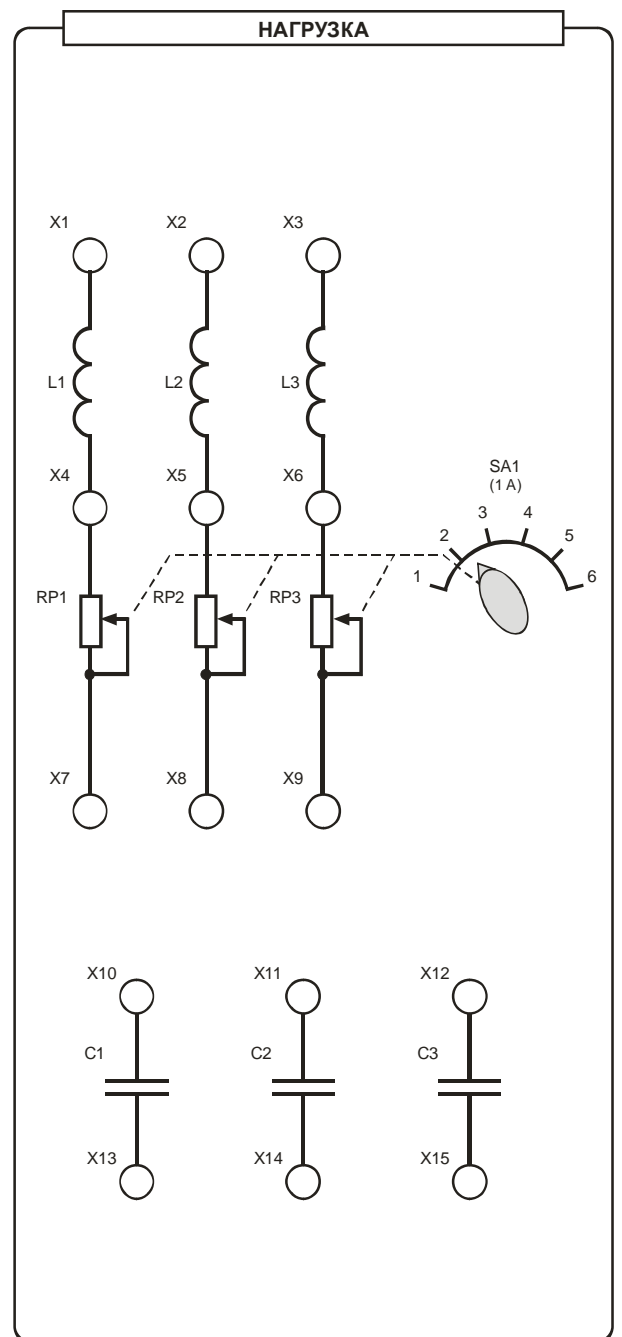


Рис. 2. Модуль «Нагрузка»

В модуле «Преобразователь частоты» установлены датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), служащие для осциллографирования и измерения напряжений и токов в схеме. На гнезда X10 и X11 подаются сигналы напряжения, а на гнезда X13 и X14 – сигналы тока. Гнезда X9, X12 и общий провод «⊥» служат для подключения выходных цепей ДН и ДТ к осциллографу или модулю «Ввод-вывод».

Коэффициент преобразования датчика напряжения $k_H = 40 \text{ В/В}$, коэффициент преобразования датчика тока $k_T = 0,25 \text{ А/В}$. Фактические значения напряжения и тока определяются умножением значений, измеренных при помощи осциллографа, на соответствующий коэффициент датчика.

С помощью тумблеров SA2 и SA3 модуля «Преобразователь частоты» изменяется полоса пропускания датчиков, что позволяет наблюдать на экране осциллографа или компьютера либо ШИМ–сигнал (положение «2»), либо его первую гармонику (положение «1»).

Питание модуля «Преобразователь частоты» осуществляется через гнезда A и N источника трехфазного переменного напряжения через автомат QF2, расположенный в модуле питания.

В качестве нагрузки АИН используется модуль «Нагрузка» (см. рис. 2), содержащий реакторы ($L1 - L3$), резисторы ($RP1 - RP3$) и конденсаторы ($C1 - C3$).

В модуле «Нагрузка» регулируются только активные сопротивления фаз ($RP1 - RP3$), а реактивные элементы остаются неизменными. Регулирование производится переключателем SA1. Значения резисторов, соответствующие положениям переключателя, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Положение переключателя SA1	1*	2	3	4	5	6
Сопротивление нагрузки (Ом)	100	200	400	600	1000	1600

Примечание: знаком «*» отмечены запрещенные положения переключателя. Индуктивности ($L1 - L3$) равны 80 мГн, а емкости ($C1 - C3$) – 10 мкФ.

Для получения трехфазной активно-индуктивной нагрузки необходимо установить переключки между гнездами X7 – X8 и X8 – X9 (нулевая точка нагрузки).

Порядок включения и выключения установки

1. Собрать схему эксперимента для выполнения лабораторной работы.
2. В модуле «Преобразователь частоты» установить тумблер SA1 («Направление вращения») – в среднее положение, потенциометр задания частоты RP1 – в нулевое положение.
3. Установить переключатель SA1 на модуле «Нагрузка» в положение максимального сопротивления (крайнее правое положение).
4. Включить автомат QF1 «Модуля питания стенда», включить автомат QF2 «Модуля питания».
5. Включить тумблер «Питание» модуля «Измеритель мощности».
6. В модуле «Преобразователь частоты» переключить тумблер SA1 в верхнее положение. При этом засветится светодиод «Работа».
7. Потенциометром RP1 установить требуемую частоту f и соответствующее ей напряжение на нагрузке. При этом выполняется закон $U_{\text{нл}}/f = \text{const}$.
8. Установить переключателем SA1 необходимое сопротивление на модуле «Нагрузка».

Порядок выключения: выключить тумблер SA1 модуля «Преобразователь частоты», а затем тумблер «Питание» модуля «Измеритель мощности», выключить автомат QF2 «Модуля питания».

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса: «Автономные инверторы напряжения», «Энергетические показатели выпрямителей» [1, с. 327–332, 414–441; 2, с. 38–44; 3, с. 54–88], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) рассчитать коэффициент модуляции μ для заданного варианта. Глубину модуляции μ рекомендуется определить из соотношения

$$\mu = \frac{U_{\text{лм}}}{U_d} = \frac{f}{f_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{лм}}$ – амплитудное значение линейного напряжения на выходе АИН;

U_d – постоянное напряжение на входе АИН;

f , f_{max} – заданная и максимальная частота на выходе АИН соответственно;

в) рассчитать для заданного варианта наибольшие действующие значения первой гармоники линейного $U_{\text{нл}(1)\text{max}}$ и фазного $U_{\text{нф}(1)\text{max}}$ напряжений на нагрузке при разных способах модуляции:

– при формировании средних напряжений на выводах по отношению к средней точке источника питания

$$U_{\text{нл}(1)\text{max}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_d}{2\sqrt{2}}, \quad U_{\text{нф}(1)\text{max}} = \frac{U_d}{2\sqrt{2}}; \quad (2)$$

– при формировании фазных напряжений с помощью пространственного вектора

$$U_{\text{нл}(1)\text{max}} = \frac{U_d}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{нф}(1)\text{max}} = \frac{U_d}{\sqrt{6}}; \quad (3)$$

г) рассчитать действующие значения первой гармоники линейного $U_{\text{нл}(1)}$ и фазного $U_{\text{нф}(1)}$ напряжений на нагрузке при разных способах модуляции по заданной частоте f и рассчитанному коэффициенту модуляции μ :

$$U_{\text{нл}(1)} = \mu \cdot U_{\text{нл}(1)\text{max}}, \quad U_{\text{нф}(1)} = \mu \cdot U_{\text{нф}(1)\text{max}}. \quad (4)$$

2. Экспериментальное исследование трехфазного АИН:

а) собрать схему для исследования трехфазного АИН при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 3. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 2 приведены измерительные приборы, а в табл. 3 датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 3).

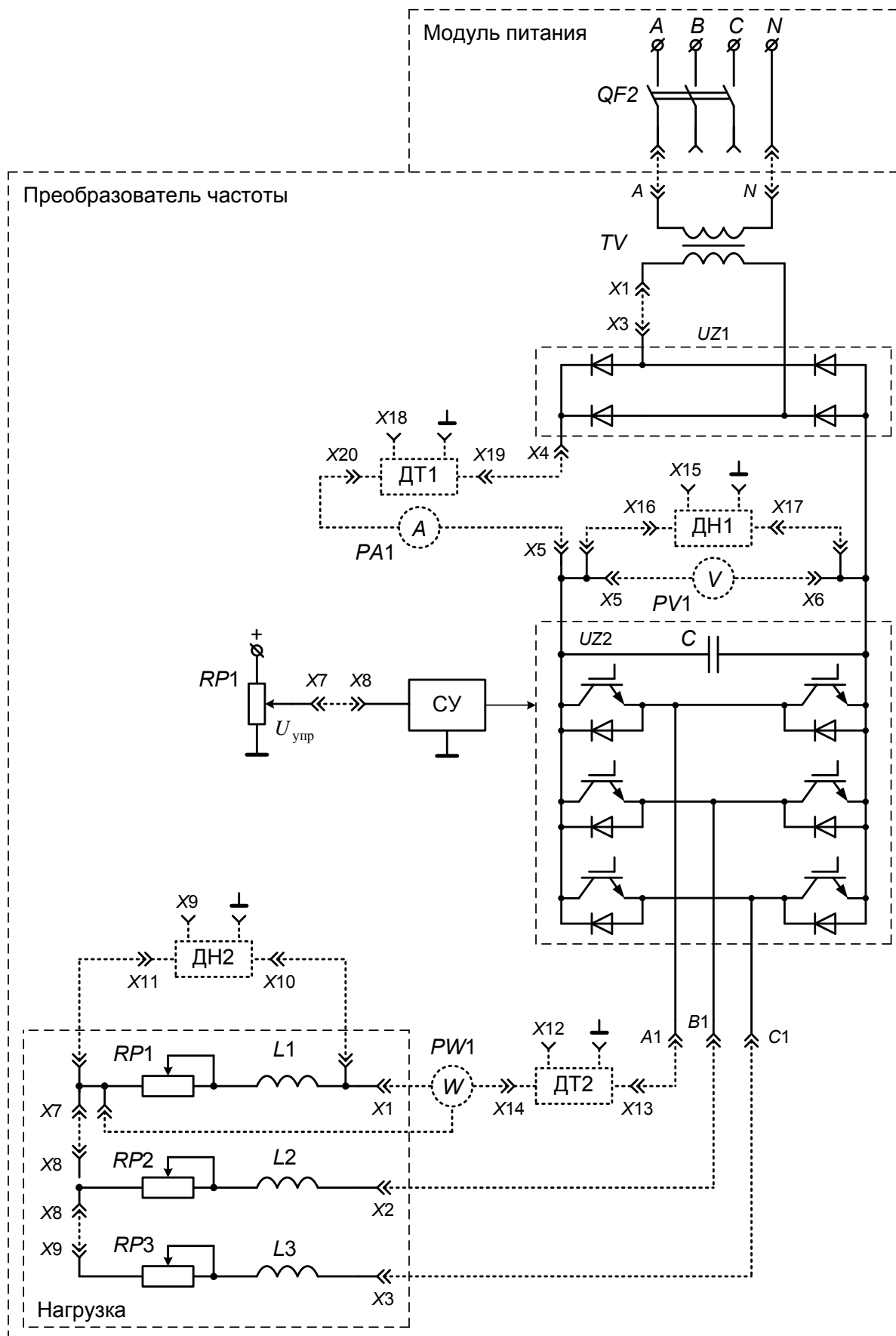


Рис. 3. Принципиальная схема для исследования автономного инвертора напряжения при работе на активно-индуктивную нагрузку

Таблица 2

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Постоянное напряжение на входе АИН U_d	$PV1$	= 1000 В	Мультиметры
Постоянный ток на входе АИН I_d	$PA1$	–	Модуль измерительный
Действующее значение первой гармоники фазного напряжения $U_{нф(1)}$ и фазного тока $I_{нф(1)}$ на выходе АИН	$PW1$	$U_{нф(1)} \sim 300$ В; $I_{нф(1)} \sim 2,0$ А	Измеритель мощности

Таблица 3

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение напряжения на входе АИН u_d	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение тока на входе АИН i_d	ДТ1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение фазного напряжения на выходе АИН $u_{нф}$	ДН2	Преобразователь частоты
Мгновенное значение фазного тока на выходе АИН $i_{нф}$	ДТ2	Преобразователь частоты

Тумблеры $SA2$ и $SA3$ датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 2;

б) снять осциллограммы первой гармоники фазного напряжения $u_{нф(1)}$ и тока $i_{нф(1)}$ на выходе АИН при помощи осциллографа для заданного сопротивления нагрузки R_H и частоты управления f . Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ2 (канал $CH2$ – гнездо X12, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ2) и датчику напряжения ДН2 (канал $CH1$ – гнездо X9). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Потенциометром $RP1$ в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f , а переключателем $SA1$ в модуле «Нагрузка» – заданное значение сопротивление нагрузки R_H .

Вначале посмотреть на осциллограммы при широкой полосе пропускания датчиков (положение «2» тумблеров $SA2$ и $SA3$ модуля «Преобразователь частоты»).

ты»), а затем, переключив тумблеры SA2 и SA3 датчиков в положение «1», записать осциллограммы первых гармоник фазного напряжения $u_{нф(1)}$ и тока $i_{нф(1)}$. Обратить внимание на фазовый сдвиг между ними (угол φ), а также на изменение фазового сдвига при изменении частоты управления f . Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков;

в) снять осциллограммы напряжения u_d и тока i_d на входе АИН при тех же значениях сопротивления нагрузки R_H и частоты управления f . Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ1 (канал СН2 – гнездо Х18, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ1) и датчику напряжения ДН1 (канал СН1 – гнездо Х15). Объяснить импульсный характер тока, потребляемого АИН на входе;

г) снять регулировочные $U_{нф(1)} = F(f)$, $\mu = F(f)$ и энергетические $P_d = F(f)$, $P_H = F(f)$, $S_H = F(f)$, $\cos\varphi_H = F(f)$, $\eta_{и} = F(f)$ характеристики автономного инвертора напряжения при регулировании по закону $U/f = \text{const}$ и заданном значении R_H . Частоту изменять в диапазоне 10 – 50 Гц. Для повышения точности измерения за счет устранения помех соединить нулевую точку модуля «Нагрузка» (гнездо Х7) с землей (гнездо N «Модуля питания»).

Фиксировать следующие величины и вносить их в табл. 4:

- f – частота на выходе АИН;
- U_d, I_d – постоянное напряжение и ток на входе АИН соответственно;
- $U_{нф(1)}, I_{нф(1)}$ – действующие значения первой гармоники фазного напряжения и тока на выходе АИН соответственно;
- $P_{нф}, \cos\varphi_H$ – фазная мощность на выходе АИН и $\cos\varphi_H$ преобразователя, измеренные модулем «Измеритель мощности», соответственно.

Таблица 4

$f, \text{Гц}$						Примечание
$U_d, \text{В}$						$R_H =$
$I_d, \text{А}$						
$U_{нф(1)}, \text{В}$						
$I_{нф(1)}$						
$P_{нф}, \text{Вт}$						
$\cos\varphi_H$						
$P_d, \text{Вт}$						
$P_H, \text{Вт}$						
$S_H, \text{В}\cdot\text{А}$						
$\eta_{и}$						
μ						

Расчетные значения в табл. 4 определять по формулам (5) – (8).

Мощность нагрузки

$$P_d = U_d \cdot I_d. \quad (5)$$

Активная и полная мощности на выходе АИН

$$P_H = 3 \cdot P_{H\phi}, \quad S_H = 3 \cdot U_{H\phi} \cdot I_{H\phi}. \quad (6)$$

Коэффициент полезного действия АИН

$$\eta_{и} = P_H / P_d. \quad (7)$$

Коэффициент модуляции

$$\mu = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{H\phi(1)}}{U_d}. \quad (8)$$

д) повторить опыт 2 г при другом значении R_H , заданном преподавателем. По данным опытов 2 г, д построить зависимости $U_{H\phi(1)} = F(f)$, $\mu = F(f)$, $P_d = F(f)$, $P_H = F(f)$, $S_H = F(f)$, $\cos\varphi_H = F(f)$, $\eta_{и} = F(f)$;

е) снять внешнюю $U_{H\phi(1)} = F(I_{H\phi(1)})$ и энергетические характеристики $P_d = F(I_{H\phi(1)})$, $P_H = F(I_{H\phi(1)})$, $S_H = F(I_{H\phi(1)})$, $\cos\varphi_H = F(I_{H\phi(1)})$, $\eta_{и} = F(I_{H\phi(1)})$ автономного инвертора напряжения при заданном значении частоты f . Для этого потенциометром $RP1$ в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты f (по прибору частота) и изменять ток нагрузки $I_{H\phi}$ переключателем $SA1$ в модуле «Нагрузка». Фиксировать те же величины, что и в опыте 2 г, а также величину R_H . Данные занести в табл. 5;

Таблица 5

R_H , Ом						Примечание
U_d , В						$f =$
I_d , А						
$U_{H\phi(1)}$, В						
$I_{H\phi(1)}$						
$P_{H\phi}$, Вт						
$\cos\varphi_H$						
P_d , Вт						
P_H , Вт						
S_H , В·А						
$\eta_{и}$						
μ						

ж) повторить опыт 2 е при другом значении f , заданном преподавателем. По данным опытов 2 е, ж построить зависимости $U_{H\phi(1)} = F(I_{H\phi(1)})$, $P_d = F(I_{H\phi(1)})$, $P_H = F(I_{H\phi(1)})$, $S_H = F(I_{H\phi(1)})$, $\cos\varphi_H = F(I_{H\phi(1)})$, $\eta_{и} = F(I_{H\phi(1)})$.

Выключить тумблер $SA1$ модуля «Преобразователь частоты», тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности», а также автоматы $QF2$ «Модуля питания» и $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполнения экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) сравнение результатов экспериментов и предварительных расчетов;
- ж) выводы по работе:
 - указать какой способ модуляции использован в АИН;
 - объяснить влияние тока нагрузки на регулировочные характеристики АИН;
 - объяснить влияние частоты управления и тока нагрузки на энергетические показатели АИН.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие ведомого и автономного инвертора?
2. Чем отличается автономный инвертор напряжения от автономного инвертора тока?
3. Зачем в инверторах напряжения включаются обратные диоды?
4. Зачем на входе АИН стоит конденсатор?
5. Как изменить частоту выходного напряжения автономного инвертора?
6. Что зависит от несущей частоты?
7. Показать контуры протекания тока в трехфазном АИН.
8. Как регулируется форма и величина напряжения в АИН?
9. Сравните способы формирования фазных напряжений в трехфазных АИН по предельно-достижимым напряжениям и коммутационным потерям.
10. Какие автономные инверторы наиболее перспективны в электроприводе в настоящее время?
11. Каков вид внешней характеристики АИН? От чего зависит наклон характеристики?
12. Как снять внешнюю характеристику?
13. Что такое регулировочная (частотная) характеристика автономного инвертора?
14. Какой вид и почему имеет регулировочная (частотная) характеристика АИН для электропривода?
15. Как снять регулировочную (частотную) характеристику?
16. От чего зависит коэффициент несинусоидальности кривой тока нагрузки?
17. Как определить КПД АИН?
18. Порядок включения и выключения лабораторной установки.

Таблица вариантов

№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	U_d , В	№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	U_d , В
1	400	30	280	13	200	25	270
2	200	40	270	14	200	30	270
3	400	50	280	15	600	40	285
4	400	40	280	16	200	45	270
5	200	50	270	17	200	30	275
6	400	50	280	18	600	50	285
7	600	40	285	19	200	50	270
8	200	30	270	20	400	25	280
9	400	45	280	21	600	30	285
10	600	35	285	22	400	40	275
11	200	40	275	23	200	50	270
12	400	35	280	24	600	45	285

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б; подвариант Б – пункты 1 а, в; подвариант В – пункты 1 а, г.

2. Максимальная частота управления $f_{\max} = 50$ Гц. При этом коэффициент модуляции $\mu = 1$.

Работа № 9
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ). Исследование проводится на промышленном преобразователе частоты.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Преобразователь частоты», «Нагрузка», «Модуль питания», «Тиристорный преобразователь», «Модуль измерительный», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Описание лабораторной установки, а также порядок ее включения и выключения подробно описаны в работе № 8 части 1 методического пособия.

Задание и методические указания

1. *Предварительное домашнее задание:*

а) изучить тему курса: «Автономные инверторы напряжения», «Преобразователи частоты», «Энергетические показатели выпрямителей» [1, с. 327–332, 414–441, 462–468; 2, с. 38–44; 3, с. 54–88, 112–118], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) рассчитать максимально возможное напряжение на выходе выпрямителя $U_{d\max}$, если напряжение на вторичной стороне трансформатора (напряжение на входе ДПЧ) U

$$U_{d\max} = \sqrt{2} \cdot U = \frac{\sqrt{2} \cdot U_c}{k_{\text{тр}}}. \quad (1)$$

Здесь U_c – действующее значение напряжения сети;

$k_{\text{тр}}$ – коэффициент трансформации;

в) рассчитать для заданного варианта максимальные действующие значения первой гармоники линейного $U_{\text{нл}(1)\max}$ и фазного $U_{\text{нф}(1)\max}$ напряжений на нагрузке при формировании фазных напряжений с помощью пространственного вектора:

$$U_{\text{нл}(1)\max} = \frac{U_d}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{нф}(1)\max} = \frac{U_d}{\sqrt{6}}; \quad (2)$$

где U_d – постоянное напряжение на выходе однофазного выпрямителя;

г) рассчитать коэффициент модуляции μ для заданного варианта. Коэффициент модуляции μ рекомендуется определить из соотношения

$$\mu = \frac{f}{f_{\max}}. \quad (3)$$

Здесь f , f_{\max} – заданная и максимальная частота на выходе ДПЧ соответственно;

д) рассчитать действующие значения первой гармоники линейного $U_{\text{нл}(1)}$ и фазного $U_{\text{нф}(1)}$ напряжений на нагрузке при разных способах модуляции по заданной частоте f и рассчитанному коэффициенту модуляции μ :

$$U_{\text{нл}(1)} = \mu \cdot U_{\text{нл}(1)\max}, \quad U_{\text{нф}(1)} = \mu \cdot U_{\text{нф}(1)\max}. \quad (4)$$

2. Экспериментальное исследование двухзвенного преобразователя частоты:

а) собрать схему для исследования ДПЧ при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 1. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены измерительные приборы, а в табл. 2 датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение напряжения U и тока I на входе ДПЧ	$PW1$	$U \sim 300 \text{ В};$ $I \sim 2,0 \text{ А}$	Измеритель мощности
Действующее значение первой гармоники фазного напряжения на активном сопротивлении нагрузки $U_{\text{нф}R(1)}$	$PV1$	–	Модуль измерительный
Действующее значение первой гармоники фазного тока нагрузки $I_{\text{нф}(1)}$	$PA3$	–	Модуль измерительный

Из табл. 1 видно, что для измерения действующего значения первой гармоники фазного напряжения на активном сопротивлении нагрузки $U_{\text{нф}R(1)}$ применяется вольтметр переменного напряжения $PV1$, установленный в «Модуле измерительном». Индуктивность нагрузки служит фильтром, которая отфильтровывает высокочастотную составляющую в выходном ШИМ-сигнале ДПЧ. При этом формы кривых тока через нагрузку и напряжения на активном сопротивлении нагрузки близки к синусоидальным.

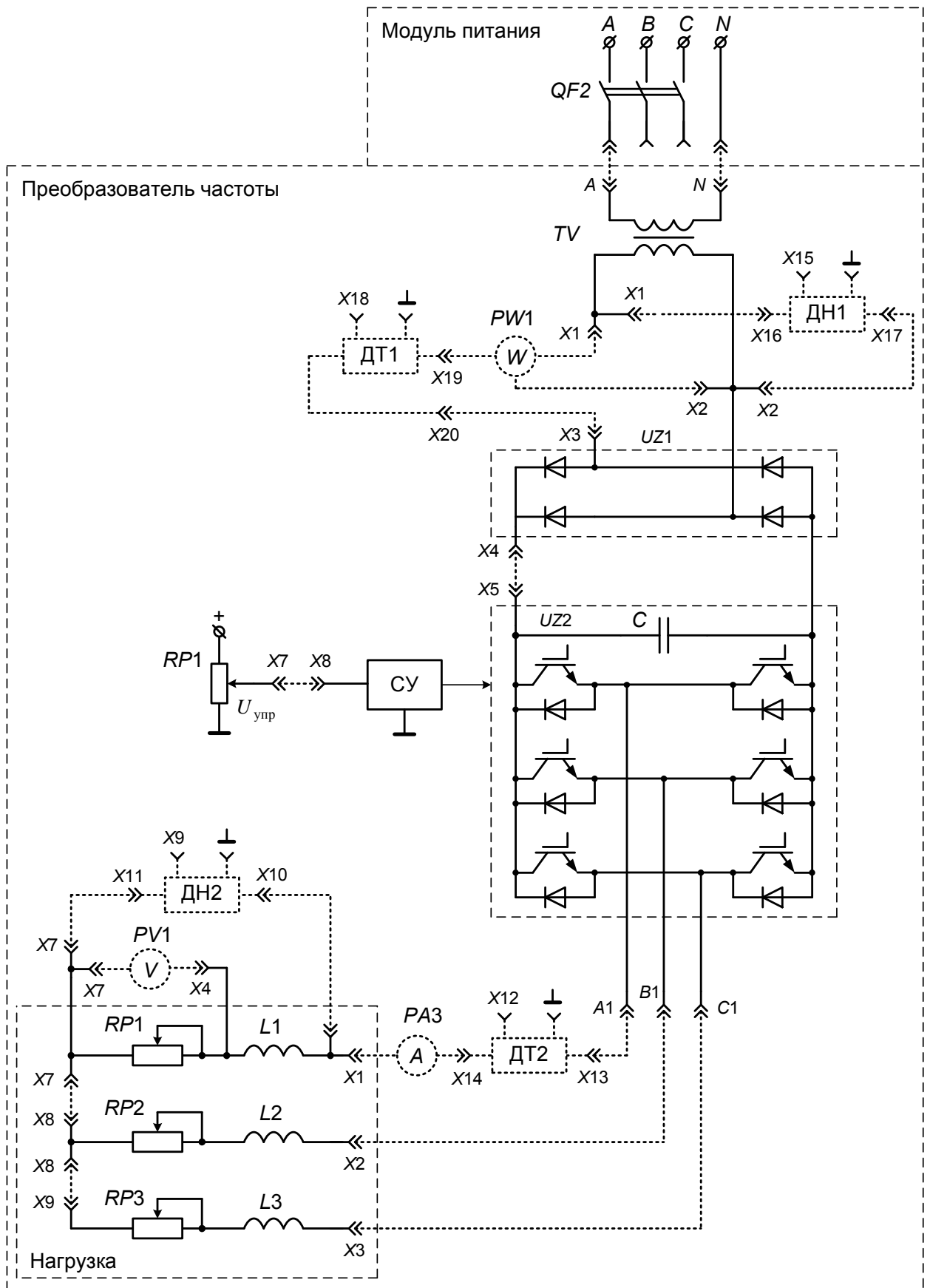


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования двухзвенного преобразователя частоты при работе на активно-индуктивную нагрузку

Таблица 2

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение напряжения на входе ДПЧ u	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение тока на входе ДПЧ i	ДТ1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение фазного напряжения на выходе ДПЧ $u_{\text{нф}}$	ДН2	Преобразователь частоты
Мгновенное значение фазного тока на выходе ДПЧ $i_{\text{нф}}$	ДТ2	Преобразователь частоты

Тумблеры SA2 и SA3 датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 2;

б) снять осциллограммы первой гармоники фазного напряжения $u_{\text{нф}(1)}$ и тока $i_{\text{нф}(1)}$ на выходе ДПЧ при помощи осциллографа для заданного сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ и частоты управления f . Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ2 (канал CH2 – гнездо X12, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ2) и датчику напряжения ДН2 (канал CH1 – гнездо X9). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 8, часть 1). Потенциометром RP1 в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f , а переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» – заданное значение сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$.

Вначале посмотреть на осциллограммы при широкой полосе пропускания датчиков (положение «2» тумблеров SA2 и SA3 модуля «Преобразователь частоты»), а затем, переключив тумблеры SA2 и SA3 датчиков в положение «1», зарисовать осциллограммы первых гармоник фазного напряжения $u_{\text{нф}(1)}$ и тока $i_{\text{нф}(1)}$. Обратит внимание на фазовый сдвиг между ними (угол φ), а также на изменение фазового сдвига при изменении частоты управления f . Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков;

в) снять осциллограммы напряжения u и тока i на входе ДПЧ при тех же значениях сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ и частоты управления f . Для этого подключить осциллограф к датчику тока ДТ1 (канал CH2 – гнездо X18, корпус осциллографа соединить с гнездом «⊥» ДТ1) и датчику напряжения ДН1 (канал CH1 – гнездо X15). Обратит внимание на формы тока и напряжения, оценить приблизительно сдвиг по фазе тока относительно напряжения;

г) снять регулировочные $U_{\text{нф}(1)} = F(f)$ и энергетические $P = F(f)$, $S = F(f)$, $\cos\varphi = F(f)$, $\chi = F(f)$, $P_{\text{н}} = F(f)$, $\cos\varphi_{\text{н}} = F(f)$, $\eta_{\text{пч}} = F(f)$ характеристики двухзвенного преобразователя частоты при регулировании по закону $U/f = \text{const}$ и за-

данном значении R_H . Частоту изменять в диапазоне 10 – 50 Гц. Для повышения точности измерения за счет устранения помех соединить нулевую точку модуля «Нагрузка» (гнездо X7) с землей (гнездо N «Модуля питания»).

Фиксировать следующие величины и вносить их в табл. 3:

- f – частота на выходе ДПЧ;
- U, I – действующие значения напряжения и тока на входе ДПЧ, измеренные модулем «Измеритель мощности», соответственно;
- $P, \cos\varphi$ – активная мощность на входе ДПЧ и косинус преобразователя, измеренные модулем «Измеритель мощности», соответственно;
- $U_{нфR(1)}$ – действующее значение первой гармоники фазного напряжения на активном сопротивлении нагрузки.

Таблица 3

$f, \text{Гц}$						Примечание
$U, \text{В}$						$R_H =$
$I, \text{А}$						
$P, \text{Вт}$						
$S, \text{В}\cdot\text{А}$						
χ						
$\cos\varphi$						
$U_{нфR(1)}, \text{В}$						
$P_H, \text{Вт}$						
$\omega L_H, \text{Ом}$						
$z_H, \text{Ом}$						
$\cos\varphi_H$						
$U_{нф(1)}, \text{В}$						
$\eta_{пч}$						

Расчетные значения в табл. 3 определять по формулам (5) – (9).

Полная мощность на входе ДПЧ

$$S = U \cdot I. \quad (5)$$

Коэффициент мощности преобразователя

$$\chi = P/S. \quad (6)$$

Активная мощность на выходе ДПЧ

$$P_H = \frac{3 \cdot U_{нфR(1)}^2}{R_H}. \quad (7)$$

Действующее значение первой гармоники фазного напряжения на нагрузке

$$U_{нф(1)} = U_{нфR(1)} / \cos\varphi_H, \quad (8)$$

где $\cos\varphi_H = R_H / z_H$ – косинус нагрузки;

$z_H = \sqrt{R_H^2 + (\omega L_H)^2}$ – полное сопротивление нагрузки;

$\omega = 2\pi f$ – циклическая частота.

Коэффициент полезного действия ДПЧ

$$\eta_{\text{пч}} = P_H / P. \quad (9)$$

д) повторить опыт 2 г при другом значении R_H , заданном преподавателем. По данным опытов 2 г, д построить зависимости $U_{\text{нф}(1)} = F(f)$, $P = F(f)$, $S = F(f)$, $\cos\varphi = F(f)$, $\chi = F(f)$, $P_H = F(f)$, $\cos\varphi_H = F(f)$, $\eta_{\text{пч}} = F(f)$;

е) снять внешнюю $U_{\text{нф}(1)} = F(I_{\text{нф}(1)})$ и энергетические $P = F(I_{\text{нф}(1)})$, $S = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\cos\varphi = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\chi = F(I_{\text{нф}(1)})$, $P_H = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\cos\varphi_H = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\eta_{\text{пч}} = F(I_{\text{нф}(1)})$ характеристики двухзвенного преобразователя частоты при заданном значении частоты f . Для этого потенциометром $RP1$ в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты f (по прибору частота) и изменять ток нагрузки $I_{\text{нф}}$ переключателем $SA1$ в модуле «Нагрузка». Фиксировать те же величины, что и в опыте 2 г, а также величины R_H и $I_{\text{нф}(1)}$. Данные занести в табл. 4. При высоких сопротивлениях нагрузки R_H вследствие нечувствительности амперметра переменного тока $PA3$ действующее значение первой гармоники фазного тока нагрузки можно определить из выражения

$$I_{\text{нф}(1)} = U_{\text{нф}(1)} / R_H. \quad (10)$$

Таблица 4

R_H , Гц						Примечание
$I_{\text{нф}(1)}$, А						$f =$ $\omega L_H =$
U , В						
I , А						
P , Вт						
S , В·А						
χ						
$\cos\varphi$						
$U_{\text{нф}R(1)}$, В						
P_H , Вт						
z_H , Ом						
$\cos\varphi_H$						
$U_{\text{нф}(1)}$, В						
$\eta_{\text{пч}}$						

ж) повторить опыт 2 е при другом значении f , заданном преподавателем. По данным опытов 2 е, ж построить зависимости $U_{\text{нф}(1)} = F(I_{\text{нф}(1)})$, $P = F(I_{\text{нф}(1)})$, $S = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\cos\varphi = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\chi = F(I_{\text{нф}(1)})$, $P_H = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\cos\varphi_H = F(I_{\text{нф}(1)})$, $\eta_{\text{пч}} = F(I_{\text{нф}(1)})$.

Выключить тумблер SA1 модуля «Преобразователь частоты», тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности», а также автоматы QF2 «Модуля питания» и QF1 «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполнения экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) сравнение результатов экспериментов и предварительных расчетов;
- ж) выводы по работе:
 - указать какой способ модуляции использован в ДПЧ;
 - объяснить влияние тока нагрузки на регулировочные характеристики ДПЧ;
 - объяснить влияние частоты управления и тока нагрузки на энергетические показатели ДПЧ.

Контрольные вопросы

1. Как изменить частоту выходного напряжения ДПЧ?
2. Какие ДПЧ наиболее перспективны в электроприводе в настоящее время?
3. Каков вид внешней характеристики ДПЧ? От чего зависит наклон характеристики?
4. Как снять внешнюю характеристику?
5. Что такое регулировочная (частотная) характеристика ДПЧ?
6. Какой вид и почему имеет регулировочная (частотная) характеристика ДПЧ для электропривода?
7. Как снять регулировочную (частотную) характеристику?
8. Как определить КПД ДПЧ?
9. Назначение элементов силовой схемы преобразователя частоты.
10. Сравните двухзвенный и непосредственный преобразователи частоты
11. Порядок включения и выключения лабораторной установки.

Таблица вариантов

№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	$k_{тр}$	№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	$k_{тр}$
1	400	30	1	13	200	25	0,95
2	200	40	0,95	14	200	30	1,05
3	400	50	0,95	15	600	40	1
4	400	40	1,05	16	200	45	1,05
5	200	50	0,95	17	200	30	0,95
6	400	50	1,05	18	600	50	1,05
7	600	40	1	19	200	50	1
8	200	30	0,95	20	400	25	1,05
9	400	45	1	21	600	30	1
10	600	35	1,05	22	400	40	1,05
11	200	40	1	23	200	50	1
12	400	35	1,05	24	600	45	1,05

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б, д, подвариант Б – пункты 1 а, в, д; подвариант В – пункты 1 а, г, д.
2. Напряжение на выходе выпрямителя однофазного выпрямителя U_d принять равным максимально возможному напряжению U_{dmax} .
3. Напряжение сети $U_c = 220$ В.
4. Коэффициент трансформации $k_{тр} = U_c / U$.
5. Максимальная частота управления $f_{max} = 50$ Гц. При этом коэффициент модуляции $\mu = 1$.

Работа № 10
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, регулировочных и энергетических характеристик однофазного преобразователя переменного напряжения при работе на активную и активно-индуктивную нагрузку.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе используются следующие модули: «Тиристоры», «Миллиамперметры», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Описание лабораторной установки подробно описано в работе № 2 части 1 учебного пособия.

Задание и методические указания

1. *Предварительное домашнее задание:*

а) изучить темы курса «Преобразователи переменного напряжения», «Энергетические показатели выпрямителей» [1, с. 327–332, 476–480; 2, с. 38–44; 3, с. 127–132; 4, с. 448–451] и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u_2 , напряжения на нагрузке u_n , анодного тока (тока нагрузки) i_a и напряжения на вентиле u_a при активной нагрузке для заданного угла управления α и напряжения U_2 ;

в) построить регулировочную характеристику при активной нагрузке и идеальных вентилях, а также при учете падения напряжения на вентиле, для заданных параметров.

Уравнение регулировочной характеристики при активной нагрузке и идеальных вентилях

$$U_n = U_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{180^\circ} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}, \quad (1)$$

где U_n – действующее значение напряжения на нагрузке;

U_2 – действующее значение вторичного напряжения трансформатора;

α – угол управления симистором (эл. град.).

Падение напряжения на вентиле приближенно можно учесть, вычтя пороговое напряжение U_0

$$U_H = (U_2 - U_0) \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{180^\circ} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}. \quad (2)$$

г) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u_2 , напряжения на нагрузке u_H , анодного тока (тока нагрузки) i_a и напряжения на вентиле u_a при активно-индуктивной нагрузке для заданного угла управления α и напряжения U_2 . Построение тока выполнить приближенно.

2. Экспериментальное исследование однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе:

а) собрать схему однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

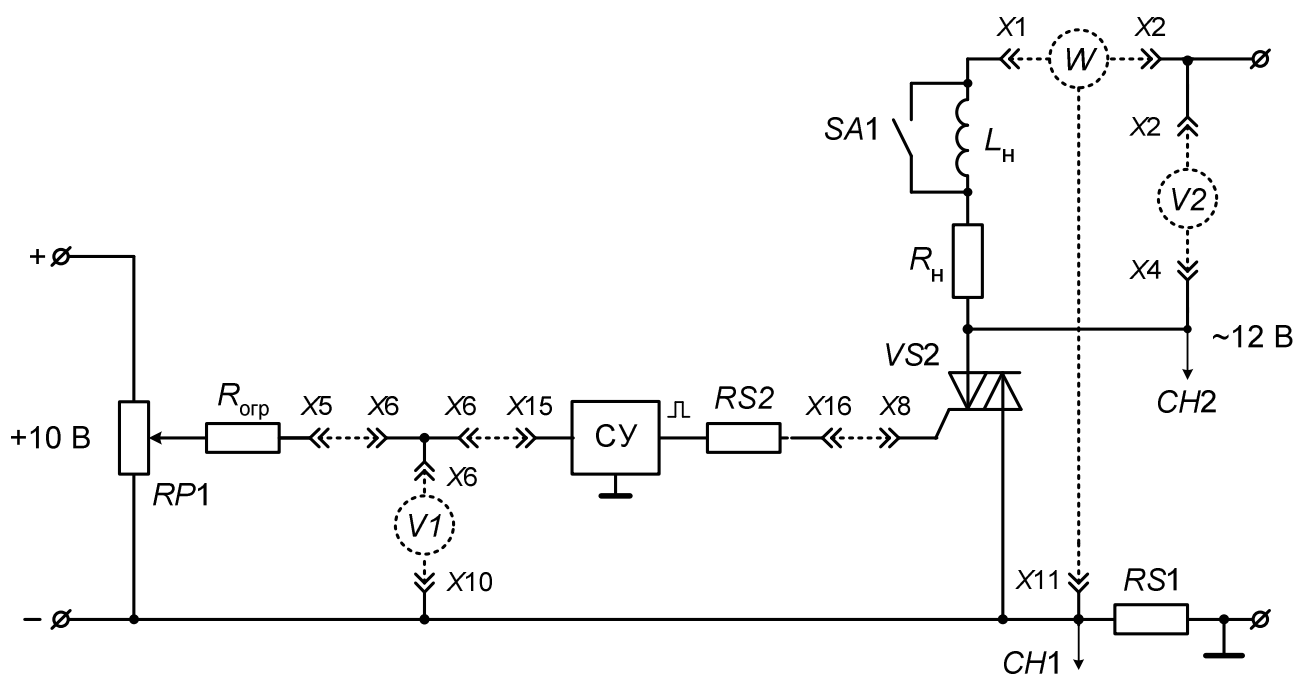


Рис. 1. Схема для исследования однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на схеме (см. рис. 2).

Переключить тумблер $SA1$ (см. рис. 1, работа № 2, часть 1) в верхнее положение, соответствующее активной нагрузке, а $SA2$ – в нижнее положение, подключив в цепь нагрузки симистора $VS2$ переменное напряжение (~ 12 В). Переключатель $SA3$ установить в среднее положение, соответствующее управлению симистором $VS2$. Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1;

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение напряжения U_2 , тока I_2 и мощности на входе	W	$U_2 \sim 30 \text{ В};$ $I_2 \sim 0,2 \text{ А}$	Измеритель мощности
Действующее значение напряжения на нагрузке U_n	$V2$	$\sim 20 \text{ В}$	Мультиметры
Напряжение управления $U_{упр}$	$V1$	$= 20 \text{ В}$	Мультиметры

б) изучить влияние угла управления на напряжение на нагрузке u_n и определить возможный диапазон изменения угла управления α . Для этого подключить вход $CH2$ осциллографа к гнезду $X4$, а корпус (\perp) – к гнезду $X14$ (напряжение на тиристоре u_a). Включить питание модуля «Тиристоры» и тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности». Регулировать угол управления α , изменяя напряжение управления $U_{упр}$. Снять зависимость угла управления от напряжения управления $\alpha = F(U_{упр})$.

Угол управления α определять при помощи осциллографа

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{дел.}}}{T_{\text{дел.}}} 360, \text{ град.} \quad (3)$$

где α – угол управления симистора (град.);

$\alpha_{\text{дел.}}$ – угол управления на экране в делениях;

$T_{\text{дел.}}$ – длительность периода на экране в делениях.

В дальнейшем, пользуясь этой характеристикой, можно определять угол управления α , не пользуясь осциллографом;

в) при активной нагрузке и заданном угле управления α снять осциллограммы напряжения на симисторе u_a (вход $CH2$ осциллографа подключить к гнезду $X4$, а корпус (\perp) – к гнезду $X14$) и анодного тока i_a (снимается с шунта $RS1$ – вход $CH1$ осциллографа к гнезду $X13$). Затем снять отдельно осциллограмму напряжения на нагрузке u_n (вход $CH2$ осциллографа подключить к гнезду $X2$, а корпус (\perp) – к гнезду $X4$, временно отключив мультиметр $V2$ от измеряемой цепи). Определить коэффициент мощности в этой точке $\chi = P/S$. Активную P и полную S мощности измерить модулем «Измеритель мощности»;

г) переключить тумблер $SA1$ в нижнее положение, разомкнув индуктивность нагрузки L_n . Снять те же осциллограммы при заданном по варианту угле управления α и активно-индуктивной нагрузке, сравнить осциллограммы;

д) снять регулировочную $U_n = F(\alpha)$ и энергетические характеристики $P = F(\alpha)$, $S = F(\alpha)$, $\chi = F(\alpha)$, $\cos\varphi = F(\alpha)$ при активной нагрузке. Для этого переключить тумблер $SA1$ в верхнее положение, соответствующее активной нагрузке.

Изменяя напряжение управления $U_{упр}$ ручкой потенциометра $RP1$, фиксировать по измерительным приборам требуемые величины. Экспериментальные данные занести в таблицу. Построить характеристики;

е) снять регулировочную характеристику $U_n = F(\alpha)$ при активно-индуктивной нагрузке для чего переключить тумблер $SA1$ в нижнее положение. Сравнить снятые регулировочные характеристики и, пользуясь осциллограммами, объяснить причины их отличий. Выключить питание модуля «Тиристоры» и тумблер «Сеть» модуля «Измеритель мощности».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) временные диаграммы и характеристики, построенные предварительно;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе. Обязательно ответить на контрольные вопросы 3, 4, 6.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение преобразователей переменного напряжения?
2. Что такое угол управления? По какой осциллограмме его можно определить?
3. На какие показатели влияет угол управления?
4. От чего зависит форма напряжения на нагрузке?
5. Что такое регулировочная характеристика?
6. От чего зависит вид регулировочной характеристики?
7. Можно ли снять регулировочную характеристику на холостом ходу? Обосновать ответ.
8. Назвать виды импульсной модуляции переменного напряжения?
9. Сравнить способы импульсной модуляции переменного напряжения и указать их области применения.
10. Недостатки фазового регулирования скорости асинхронных двигателей.
11. Зачем применяют устройства мягкого пуска асинхронных двигателей?

Таблица вариантов

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α , град.	40	50	60	70	80	90	100	110	120	40	50	60
U_2 , В	12	11	10	9	8	7	12	11	10	9	8	7
U_0 , В	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	1,0
№ варианта	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
α , град	35	45	55	65	75	85	95	105	115	35	45	55
U_2 , В	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5
U_0 , В	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	0,9	1,0	1,1	0,95	0,8	1,0

Примечание.

При выполнении предварительного домашнего задания студенты, получившие подвариант А, выполняют п. 1 а, б, в; подвариант Б – выполняют п. 1 а, в, г; подвариант В – выполняют п. 1 а, б, г.

Работа № 11
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С КОРРЕКТОРОМ
КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Цель работы

Изучение характеристик и режимов работы неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр без корректора коэффициента мощности и с корректором коэффициента мощности (ККМ).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Корректор коэффициента мощности», «Модуль измерительный», «Мультиметры», «Измеритель мощности», а также двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Корректор коэффициента мощности» представлена на рис. 1.

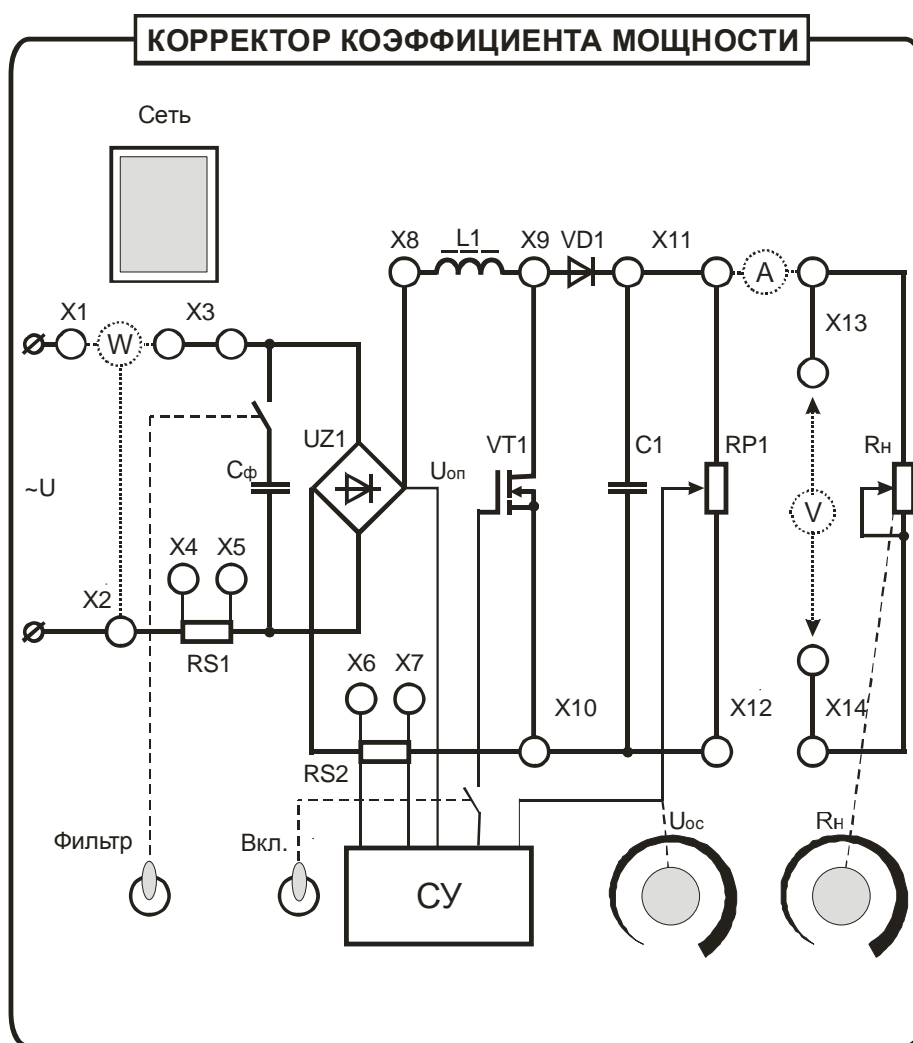


Рис. 1. Модуль «Корректор коэффициента мощности»

На лицевой панели изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы, а также гнезда для внешних соединений ($X1 - X14$).

Питание модуля осуществляется через понижающий трансформатор, непоказанный на мнемосхеме (см. рис. 1). Переменное напряжение $\sim U$ с выхода вторичной обмотки трансформатора поступает на диодный мост $UZ1$, далее установлены высокочастотный дроссель малой индуктивности $L1$, блокирующий диод $VD1$, полевой транзистор $VT1$, работающий в ключевом режиме, и конденсатор фильтра $C1$. Управление транзистором осуществляется от системы управления (СУ), включить которую позволяет тумблер «Вкл». При выключении тумблера «Вкл», т.е. переключение его в нижнее положение, схема переходит в режим неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр (индуктивность $L1$ очень мала и не влияет на процессы в неуправляемом выпрямителе).

Потенциометром $RP1$ осуществляется регулирование напряжения на выходе ККМ, а переменным резистором R_H – тока в цепи нагрузки.

Переключение тумблера «Фильтр» в верхнее положение позволяет подключить сетевой фильтр C_F и уменьшить вредное влияние ККМ на форму напряжения сети, обусловленное его работой в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Для осциллографирования токов применяются шунты $RS1$ и $RS2$, сопротивление которых равно $0,22 \text{ Ом}$.

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса: «Неуправляемые выпрямители», «Фильтры», «Корректор коэффициента мощности» [1, с. 294–301, 481–485; 2, с. 12–19; 3, с. 133–137; 5, с. 199–205, 484–494], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) по заданным параметрам определить ток на входе I_1 из уравнения баланса мощностей на входе и выходе схемы при допущении $\cos\varphi = 1$

$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi = U_{dH} \cdot I_{dH} + I_1^2 \cdot R. \quad (1)$$

где U_1, I_1 – действующее значение напряжения и тока на входе ККМ;

U_{dH}, I_{dH} – напряжение и ток на выходе (нагрузке) ККМ;

R – суммарное сопротивление ККМ, включающее сопротивление диодного моста $UZ1$, дросселя $L1$, шунтов $RS1, RS2$ и сопротивления транзистора $VT1$ во включенном состоянии;

в) по заданным параметрам определить КПД выпрямителя с корректором коэффициента мощности при допущении $\cos\varphi = 1$

$$\eta = \frac{U_{dH} \cdot I_{dH}}{U_1 \cdot I_1}. \quad (2)$$

Ток I_1 на входе ККМ определить из уравнения (1);

г) по заданным параметрам определить коэффициент пульсаций q неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр

$$q = \frac{I_{dH}}{2 \cdot m \cdot f \cdot C1 \cdot U_{dH}} \quad (3)$$

Здесь f – частота питающей сети;

m – пульсность выпрямителя $UZ1$;

$C1$ – емкость на выходе выпрямителя.

2. Экспериментальные исследования неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр:

а) собрать схему для исследования неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром в соответствии с рис. 2. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

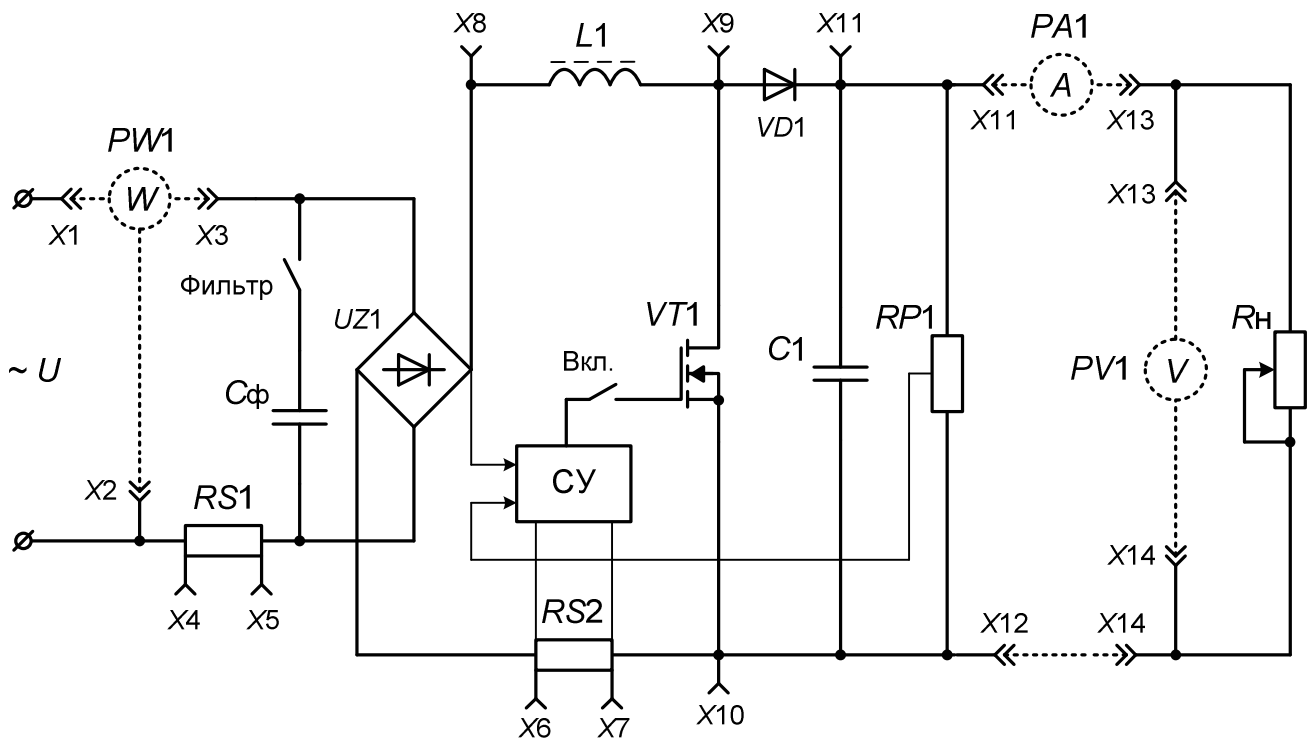


Рис. 2. Принципиальная схема для исследования неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром и с ККМ

В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 2).

Тумблеры «Фильтр» и «Вкл» переключить в нижнее положение (фильтр C_{Φ} и система управления ККМ выключены). Ручку реостата R_{H} перевести в крайнее правое положение, соответствующее максимально возможному сопротивлению нагрузки. Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. Включить автомат $QF1$ «Модуля питания стенда», а затем тумб-

леры «Сеть» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Измеритель мощности»;

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение напряжения U_1 , тока I_1 и мощности на входе	$PW1$	$U_1 \sim 30 \text{ В};$ $I_1 \sim 2,0 \text{ А}$	Измеритель мощности
Напряжение на нагрузке $U_{дн}$	$PV1$	$= 200 \text{ В}$	Мультиметры
Ток нагрузки $I_{дн}$	$PA1$	–	Модуль измерительный

б) снять осциллограммы напряжения u_1 и тока i_1 на входе ККМ. Для этого вход осциллографа $CH1$ подключить к гнезду $X3$ (напряжение u_1), а вход $CH2$ – к гнезду $X5$ (ток i_1), корпус осциллографа « \perp » соединить с гнездом $X4$. Реостатом R_H установить заданный ток нагрузки I_H . Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Определить и записать масштабы по напряжению, току и времени;

в) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d , подключив вход осциллографа $CH1$ к гнезду $X8$ (напряжение u_d), а вход $CH2$ – к гнезду $X7$ (ток i_d), корпус осциллографа « \perp » соединить с гнездом $X6$. Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы;

д) снять осциллограмму напряжения на конденсаторе $C1$ (нагрузке) $u_{дн}$, подключив вход $CH2$ осциллографа к гнезду $X11$, а корпус осциллографа « \perp » соединить с гнездом $X10$. Зарисовать осциллограмму;

е) исследовать влияние тока нагрузки $I_{дн}$ на коэффициент пульсаций q напряжения на нагрузке $u_{дн}$. Для этого переключить канал $CH2$ осциллографа на открытый вход « AC » (переменная составляющая входного сигнала). Замерить двойную амплитуду пульсаций напряжения на нагрузке $\Delta U_{дн}$ при заданном токе нагрузки I_H . Определить коэффициент пульсаций $q = \Delta U_{дн} / (2 \cdot U_{дн})$, сравнив его с расчетным значением (см. п. 1 г). Определить коэффициент q при других значениях тока нагрузки $I_{дн}$, вращая ручку реостата R_H . Данные заносить в таблицу. Построить зависимость $q = F(I_{дн})$;

ж) снять и построить внешнюю $U_{дн} = F(I_{дн})$ и энергетические характеристики $P_1 = F(I_{дн})$, $S_1 = F(I_{дн})$, $P_H = F(I_{дн})$, $\chi = F(I_{дн})$, $\cos \varphi = F(I_{дн})$, $\eta = F(I_{дн})$ неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром, изменяя ток нагрузки $I_{дн}$ реостатом R_H . Данные занести в табл. 2. Выключить тумблер «Сеть» в модуле «Корректор коэффициента мощности».

Таблица 2

$U_1, В$										
$I_1, А$										
$P_1, Вт$										
$S_1, В·А$										
$U_{дн}, В$										
$I_{дн}, А$										
$P_{дн}, Вт$										
χ										
$\cos\varphi$										
η										

Энергетические показатели выпрямителя с емкостным фильтром определить по формулам: полная мощность на входе – $S_1 = U_1 \cdot I_1$, мощность на нагрузке – $P_{дн} = U_{дн} \cdot I_{дн}$, коэффициент мощности – $\chi = P_1/S_1$, КПД – $\eta = P_{дн}/P_1$.

3. Экспериментальное исследование неуправляемого выпрямителя с корректором коэффициента мощности:

а) собрать схему выпрямителя с корректором коэффициента мощности в соответствии с рис. 2. Тумблеры «Фильтр» и «Вкл» переключить в верхнее положение (фильтр C_Φ и система управления ККМ включены). Ручку реостата R_H перевести в крайнее правое положение, соответствующее максимально возможному сопротивлению нагрузки. Включить тумблер «Сеть» в модуле «Корректор коэффициента мощности»;

б) снять осциллограммы напряжения u_1 и тока i_1 на входе ККМ. Для этого вход осциллографа $CH1$ подключить к гнезду $X3$ (напряжение u_1), а вход $CH2$ – к гнезду $X5$ (ток i_1), корпус осциллографа « \perp » соединить с гнездом $X4$. Потенциометром $RP1$ установить заданное напряжение на нагрузке $U_{дн}$, а реостатом R_H – заданный ток нагрузки $I_{дн}$. Значение напряжения на нагрузке $U_{дн}$ ручкой потенциометра $RP1$ не изменять во всех опытах. Зарисовать с экрана осциллографа требуемые осциллограммы. Определить и записать масштабы по напряжению, току и времени. Отключив сетевой фильтр C_Φ , исследовать его влияние на вид осциллограмм;

в) повторить пункты 2 в – ж для выпрямителя с корректором коэффициента мощности. Выключить тумблеры «Сеть» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Измеритель мощности», а затем автомат $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты;
- в) принципиальную силовую схему установки;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- е) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) выводы по работе:
 - пояснить влияние на осциллограммы сетевого фильтра;
 - объяснить влияние тока нагрузки $I_{дн}$ на коэффициент пульсаций q выпрямителя с емкостным фильтром и корректором коэффициента мощности;
 - сравнить основные энергетические показатели (χ , $\cos\varphi$) выпрямителя с емкостным фильтром и корректором коэффициента мощности;
 - указать, чем отличаются внешние характеристики неуправляемого выпрямителя с корректором коэффициента мощности и без него.

Контрольные вопросы

1. Как работают однофазные схемы выпрямления?
2. Каково назначение фильтров в преобразовательной технике?
3. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения емкостных фильтров.
4. Принцип работы неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр.
5. От каких параметров зависит коэффициент пульсаций q выпрямителя, работающего на емкостной фильтр? Как изменяется коэффициент q при увеличении тока нагрузки и почему?
6. Перечислить основные энергетические показатели выпрямителей.
7. Что такое коэффициент мощности и зачем его корректировать?
8. Назначение и принцип работы корректора коэффициента мощности.
9. Сформулировать главное условие работы неуправляемого выпрямителя с ККМ?
10. Зачем в схеме ККМ используется выпрямительный диод $VD1$?
11. Провести сравнительную оценку выпрямителя с емкостным фильтром и корректором коэффициента мощности по основному энергетическому показателю (χ , $\cos\varphi$).
12. Что такое внешняя характеристика, и какой вид она имеет для выпрямителя с емкостным фильтром и корректором коэффициента мощности?
13. Как снять внешние характеристики?

Таблица вариантов

№ ва- рианта	Выпрямитель с фильтром		Выпрямитель с ККМ		№ ва- рианта	Выпрямитель с фильтром		Выпрямитель с ККМ	
	U_{dH} , В	I_{dH} , А	U_{dH} , В	I_{dH} , А		U_{dH} , В	I_{dH} , А	U_{dH} , В	I_{dH} , А
1	19	0,4	28	0,6	13	19	0,4	28,5	0,55
2	18	0,35	27	0,55	14	18	0,35	27,5	0,5
3	17	0,3	26	0,5	15	17	0,3	26,5	0,45
4	16	0,25	25	0,45	16	16	0,25	25,5	0,4
5	19	0,2	24	0,4	17	19	0,2	24,5	0,35
6	18	0,15	23	0,5	18	18	0,15	23,5	0,45
7	17	0,15	28	0,65	19	17	0,15	28	0,5
8	16	0,2	27	0,6	20	16	0,2	27	0,55
9	19	0,25	26	0,55	21	19	0,25	26	0,45
10	18	0,3	25	0,5	22	18	0,3	25	0,5
11	17	0,35	24	0,45	23	17	0,35	24	0,5
12	16	0,4	23	0,4	24	16	0,4	23	0,45

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1а, б; подвариант Б – пункты 1 а, в; подвариант В – пункты 1 а, г.

2. При расчете принимать: $U_1 = 16$ В; $m = 2$; $f = 50$ Гц; $C1 = 1880$ мкФ; $R = 2,4$ Ом.

Работа № 12
ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Цель работы

Изучение принципа действия, характеристик и режимов работы источника вторичного электропитания (ИВЭП), а также получение навыков работы с высокочастотными преобразователями постоянного напряжения в постоянное (DC – DC преобразователей).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Источник вторичного электропитания», «Корректор коэффициента мощности», «Модуль измерительный», «Мультиметры», а также двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Источник вторичного электропитания» представлена на рис. 1.

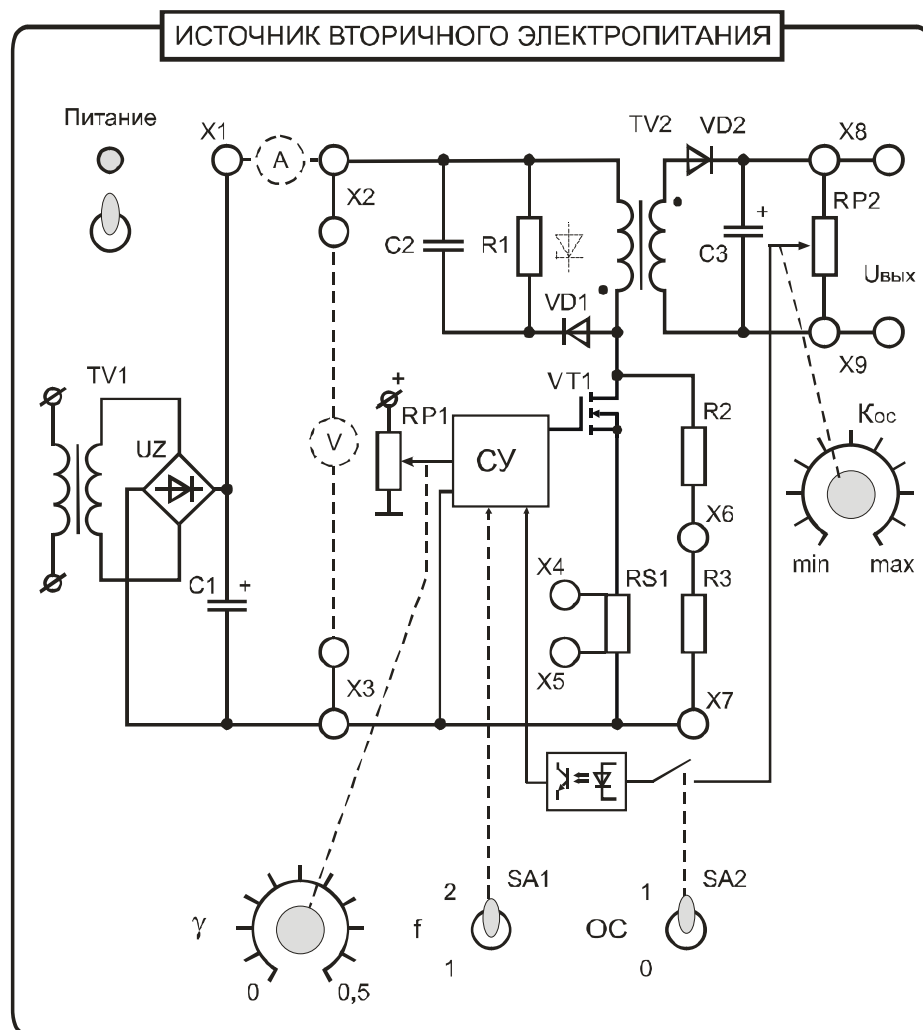


Рис. 1. Модуль «Источник вторичного электропитания»

На лицевой панели изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы, а также гнезда для внешних соединений ($X1 - X9$). На мнемосхеме модуля в упрощенном виде изображены составные части обратноходового преобразователя постоянного напряжения: система управления (СУ), полевой транзистор $VT1$, работающий в ключевом режиме, высокочастотный трансформатор $TV2$, выходной выпрямитель $VD2$ с емкостным фильтром $C3$, демпфирующая цепь $VD1, C2, R1$ (вместо резистора $R1$ в схеме источника вторичного электропитания установлен стабилитрон, обеспечивающий функцию ограничения напряжения на выходе модуля при отсутствии нагрузки), цепь обратной связи с гальванической развязкой (оптопарой).

Питание преобразователя может осуществляться либо от нестабилизированного источника постоянного тока, состоящего из понижающего трансформатора $TV1$, диодного моста UZ и емкостного фильтра $C1$, либо от стабилизированного источника питания, функцию которого выполняет модуль «Корректор коэффициента мощности».

Управление транзистором $VT1$ осуществляется от ШИМ-контроллера. Тумблером $SA2$ обеспечивается подключение обратной связи по напряжению, выполняющей функцию стабилизации напряжения на выходе источника вторичного электропитания (положение «1» – обратная связь включена, «0» – выключена). В разомкнутой системе относительное время включения транзистора $VT1$ (коэффициент заполнения) γ изменяется потенциометром $RP1$ в диапазоне $0 \leq \gamma < 0,5$. В замкнутой системе напряжение на выходе преобразователя задается потенциометром $RP2$. При этом выход потенциометра $RP1$ отключается от входа СУ. Тумблером $SA1$ обеспечивается дискретное изменение частоты ШИМ транзистора $VT1$.

Для осциллографирования тока и напряжения на транзисторе $VT1$ используются шунт $RS1 = 0,41$ Ом и делитель напряжения $R2, R3$ с коэффициентом деления 10. Включение модуля осуществляется тумблером «Питание» и индицируется красным светодиодом.

В качестве нагрузки источника вторичного электропитания ИВЭП используется регулируемая нагрузка модуля «Корректор коэффициента мощности». В модуле «Источник вторичного электропитания» предусмотрена защита от подачи обратной полярности на входе и от короткого замыкания на выходе.

Для измерения постоянного тока и напряжения на входе и выходе ИВЭП используются «Модуль измерительный» и «Мультиметры».

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса: «Источники вторичного электропитания» [1, с. 487–494; 3, с. 142–151; 5, с. 258–270, 283–287], содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) исходя из равенства нулю среднего тока трансформатора, рассчитать предельно возможное напряжение на нагрузке

$$U_n = U_d \cdot n \cdot \frac{\gamma}{1 - \gamma}; \quad (1)$$

где $n = w_2/w_1$ – коэффициент трансформации;

U_d – постоянное напряжение на входе ИВЭП;

γ – относительное время включения транзистора VT1 (коэффициент заполнения);

в) для заданного варианта рассчитать максимальное значение тока, протекающего через транзистор, в граничном режиме работы

$$I_{\max} = \frac{U_d \cdot \gamma \cdot T_{\text{шим}}}{L_1}, \quad (2)$$

где $T_{\text{шим}} = 1/f$ – период включения транзистора;

L_1 – индуктивность первичной обмотки трансформатора;

г) для заданного варианта определить мощность, рассеиваемую в защитном стабилитроне

$$P_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{ст}} \cdot I_{\max} \cdot t_{\text{ст}}}{T_{\text{шим}} \cdot 2}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ст}}$ – напряжение стабилизации стабилитрона; I_{\max} – максимальное значение тока через стабилитрон в момент выключения транзистора (определяется в соответствии с выражением (2)); $t_{\text{ст}} = (U_d \cdot \gamma \cdot T_{\text{шим}})/U_{\text{ст}}$ – время прохождения тока через стабилитрон.

2. Экспериментальное исследование источника вторичного электропитания без обратной связи:

а) собрать схему для исследования источника вторичного электропитания в соответствии с рис. 2. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

Питание ИВЭП осуществляется от стабилизированного источника питания, функцию которого выполняет модуль «Корректор коэффициента мощности». В качестве нагрузки ИВЭП используется регулируемая нагрузка модуля «Корректор коэффициента мощности». В табл. 1 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 2).

Тумблеры «Фильтр» и «Вкл» в модуле «Корректор коэффициента мощности» переключить в верхнее положение (фильтр C_{Φ} и система управления ККМ включены). В модуле «Источник вторичного электропитания» тумблер SA1 установить в положение согласно таблице вариантов, а SA2 – в положение «0» (система без обратной связи). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1. Включить автомат QF1 «Модуля питания стенда», а также тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Источник вторичного электропитания» соответственно;

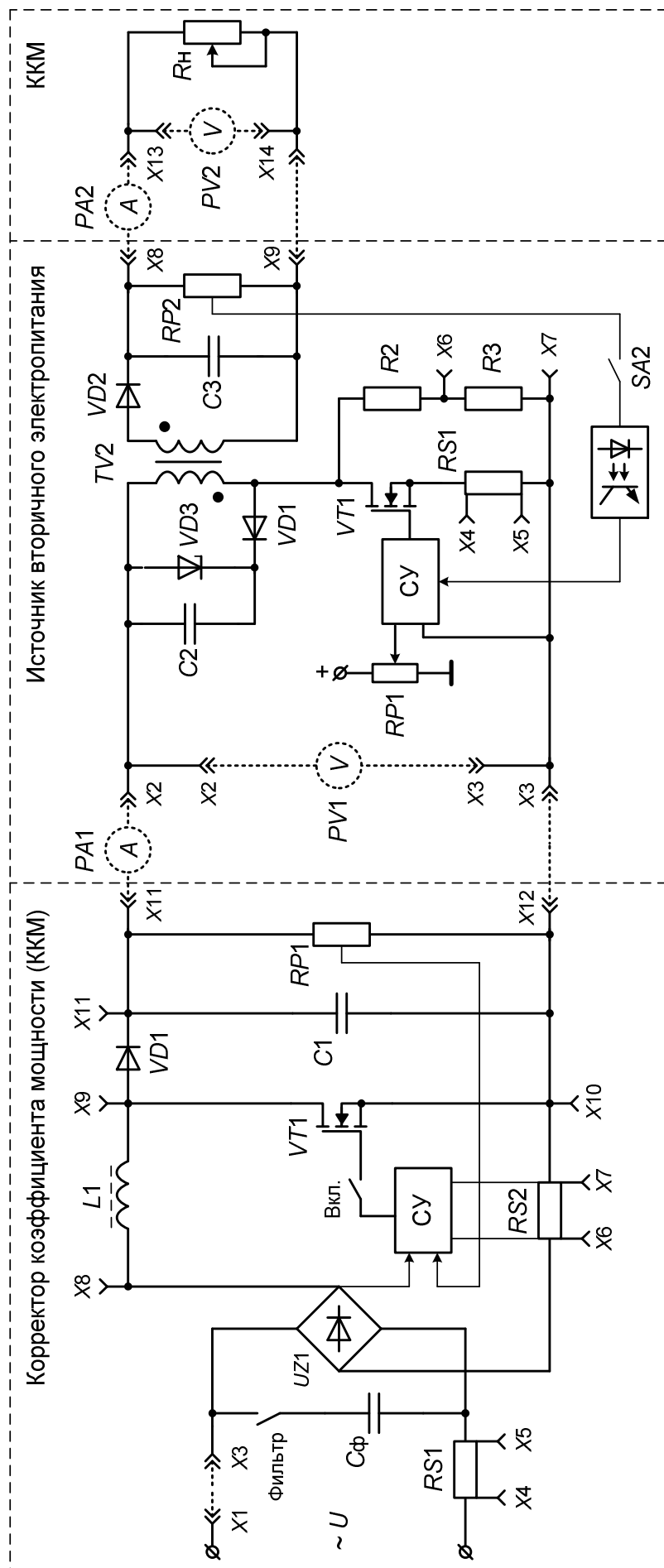


Рис. 2. Принципиальная схема для исследования источника вторичного электропитания с питанием от выпрямителя с корректором коэффициента мощности

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Напряжение на входе U_d	$PV1$	$= 200 \text{ В}$	Мультиметры
Ток на входе I_d	$PA1$	–	Модуль измерительный
Напряжение на нагрузке U_H	$PV2$	$= 200 \text{ В}$	Мультиметры
Ток нагрузки I_H	$PA2$	–	Модуль измерительный

б) снять осциллограммы тока и напряжения на транзисторе $VT1$ для заданного коэффициента заполнения γ и двух значений тока нагрузки I_H (заданного по варианту и $I_H = 0$). Для этого выход осциллографа $CH1$ подключить к гнезду $X6$ (напряжение на транзисторе), а выход $CH2$ – к гнезду $X4$ (ток транзистора), корпус осциллографа « \perp » соединить с гнездом $X5$. В модуле «Корректор коэффициента мощности» ручкой потенциометра $RP1$ установить требуемое значение напряжения на входе U_d ИВЭП согласно таблице вариантов и на протяжении всех опытов не изменять положение $RP1$. В модуле «Источник вторичного электропитания» ручкой потенциометра $RP1$ установить заданный коэффициент заполнения γ , а затем реостатом R_H в модуле «Корректор коэффициента мощности» – заданный ток нагрузки I_H . Во всех опытах коэффициент заполнения γ измерять при помощи осциллографа. Зарисовать с экрана осциллографа ток и напряжение на транзисторе $VT1$. Определить и записать масштабы по току, напряжению и времени. Аналогичные действия выполнить при токе нагрузки $I_H = 0$. Объяснить различие в осциллограммах, определить частоту ШИМ транзистора и его режим работы (прерывистый или непрерывный);

в) снять и построить регулировочную $U_H = F(\gamma)$ и энергетические характеристики $P_d = F(\gamma)$, $P_H = F(\gamma)$, $\eta = F(\gamma)$ при постоянном напряжении на входе U_d и сопротивлении нагрузки R_H . Для этого для заданного коэффициента заполнения γ , указанного в таблице вариантов, установить заданный ток нагрузки I_H реостатом R_H в модуле «Корректор коэффициента мощности» и на протяжении всего опыта не трогать положение ручки потенциометра R_H . При измерении коэффициента заполнения γ осциллографом рекомендуется ручкой плавной подстройки подобрать развертку осциллографа таким образом, чтобы период исследуемого сигнала составил ровно 10 делений. Тогда коэффициент заполнения γ можно с достаточной для практики точностью вычислить как отношение открытого состояния транзистора (в делениях) к периоду (10 делений). Изменяя коэффициент заполнения импульсов с шагом $\gamma \approx 0,05$, фиксировать показания U_d , I_d , U_H , I_H . Показания занести в табл. 2.

Энергетические показатели ИВЭП определить по формулам: мощность на входе – $P_d = U_d \cdot I_d$, мощность на нагрузке – $P_n = U_n \cdot I_n$, КПД – $\eta = P_n / P_d$;

Таблица 2

γ											
U_d , В											
I_d , А											
P_d , Вт											
U_n , В											
I_n , А											
P_n , Вт											
η											

д) снять и построить внешнюю $U_n = F(I_n)$ и энергетические характеристики $P_d = F(I_n)$, $P_n = F(I_n)$, $\eta = F(I_n)$ при постоянном напряжении на входе U_d и коэффициенте заполнения $\gamma = 0,5$. Для этого ручку потенциометра $RP1$ в модуле «Источник вторичного электропитания» установить в крайнее правое положение, соответствующее $\gamma = 0,5$. Изменяя сопротивление нагрузки реостатом R_n в модуле «Корректор коэффициента мощности», фиксировать показания U_d , I_d , U_n , I_n . Показания занести в таблицу 2, построить характеристики.

3. Экспериментальное исследование источника вторичного электропитания с обратной связью:

а) снять и построить характеристику стабилизации $U_n = F(U_d)$, а также энергетическую характеристику $\eta = F(U_d)$ ИВЭП при постоянном напряжении задания U_3 и минимально возможном сопротивлении нагрузки R_n . Для этого в модуле «Источник вторичного электропитания» тумблер $SA2$ переключить в положение «2» (обратная связь включена). В модуле «Корректор коэффициента мощности» ручкой потенциометра $RP1$ установить требуемое значение напряжения U_d на входе ИВЭП, а реостат R_n перевести в крайнее левое положение, соответствующее минимально возможному сопротивлению нагрузки R_n . В модуле «Источник вторичного электропитания» ручкой потенциометра $RP2$ установить заданное по варианту напряжение на нагрузке U_n . Изменяя напряжение U_d на входе ИВЭП, фиксировать показания U_d , I_d , U_n , I_n . Показания занести в таблицу 2, построить характеристики;

б) снять и построить внешнюю $U_n = F(I_n)$ и энергетические характеристики $P_d = F(I_n)$, $P_n = F(I_n)$, $\eta = F(I_n)$ при постоянном напряжении на входе U_d и напряжении задания U_3 . Для этого в модуле «Корректор коэффициента мощности» ручкой потенциометра $RP1$ установить требуемое значение напряжения U_d на входе ИВЭП согласно таблице вариантов. В модуле «Источник вторичного электропитания» ручкой потенциометра $RP2$ установить заданное по варианту напря-

жение на нагрузке U_n . Изменяя сопротивление нагрузки реостатом R_n в модуле «Корректор коэффициента мощности», фиксировать показания U_d, I_d, U_n, I_n . Показания занести в таблицу, построить характеристики.

Выключить тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Источник вторичного электропитания» соответственно, а затем автомат $QF1$ «Модуля питания стенда».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) предварительные расчеты и построения;
- в) принципиальную силовую схему установки;
- в) обработанные осциллограммы;
- г) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- д) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- е) выводы по работе:
 - пояснить влияние тока нагрузки I_n на вид осциллограмм на транзисторе в разомкнутой системе;
 - объяснить влияние коэффициента заполнения γ на энергетические характеристики ИВЭП в разомкнутой системе;
 - объяснить вид внешней характеристики ИВЭП в разомкнутой системе;
 - пояснить влияние напряжения U_d и тока нагрузки I_n на характеристики ИВЭП в замкнутой системе.

Контрольные вопросы

1. Назвать основные статические параметры стабилизаторов напряжения.
2. Назначение источника вторичного электропитания.
3. Какие требования предъявляются к ИВЭП?
4. Чем отличаются безтрансформаторные ИВЭП от централизованных?
5. Из каких элементов (блоков) состоят бестрансформаторные ИВЭП?
6. Перечислить основные схемы АИН, которые применяются в ИВЭП.
7. Как работает АИН с обратным включением диода?
8. Чем отличается АИН с прямым и обратным включением диода?
9. Какой вид имеет диаграмма тока транзистора в непрерывном, прерывистом и граничном режимах работы в схеме АИН с обратным включением диода?
10. Как снять внешние и регулировочные характеристики ИВЭП?
11. Зачем в ИВЭП введена обратная связь по напряжению?

Таблица вариантов

№ варианта	Положение тумблера SA1	U_d , В	γ	I_H , А	U_H , В (для замкнутой системы)
1	1	26	0,5	0,47	13,0
2	2	26	0,45	0,44	12,5
3	1	26	0,4	0,35	12,0
4	2	26	0,35	0,28	11,5
5	1	25	0,3	0,25	11,0
6	2	25	0,5	0,42	10,5
7	1	25	0,45	0,38	13,0
8	2	25	0,4	0,33	12,5
9	1	25	0,35	0,26	12,0
10	2	25	0,3	0,22	11,5
11	1	24	0,5	0,36	11,0
12	2	24	0,45	0,32	10,5
13	1	24	0,4	0,26	13,0
14	2	24	0,35	0,2	12,5
15	1	24	0,3	0,18	12,0
16	2	23	0,5	0,4	11,5
17	1	23	0,45	0,36	11,0
18	2	23	0,4	0,3	10,5
19	1	23	0,35	0,24	13,0
20	2	27	0,5	0,44	12,5
21	1	27	0,45	0,4	12,0
22	2	27	0,4	0,34	11,5
23	1	27	0,35	0,28	11,0
24	2	27	0,3	0,23	10,5

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б; подвариант Б – пункты 1 а, в; подвариант В – пункты 1 а, г.

2. При расчетах принять: индуктивность первичной обмотки трансформатора $L_1 = 0,4$ мГн; напряжение стабилизации стабилитрона $U_{ст} = 30$ В; коэффициент трансформации $n = 1$.

ЧАСТЬ 2. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ

ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Лабораторный комплекс по преобразовательной технике позволяет проводить лабораторные работы в автоматизированном режиме с применением современных средств вычислительной техники. Система автоматизации позволяет наглядно представить измеренную информацию, повысить точность измерений сигналов сложной формы, сократить время выполнения лабораторных работ.

Автоматизированная система стенда состоит из двух частей: аппаратной и программной.

Аппаратная часть автоматизированной системы стенда

Аппаратная часть автоматизированной системы стенда состоит из:

- персонального компьютера со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M производства ЗАО «L-CARD», выполняющей функцию обработки аналоговой и цифровой информации, а также преобразования аналоговых внешних сигналов в цифровую форму и обратное преобразование;

- модуля «Ввод-вывод» (рис. 1), предназначенного для гальванической развязки и согласования уровней входных и выходных сигналов между платой L-780M и внешними исследуемыми модулями;

- датчиков тока и напряжения, входящих в состав модулей «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты».

Модуль «Ввод-вывод» (см. рис. 1) включает в себя:

- четыре дифференциальных аналоговых каналов ввода (А1 – А4), предназначенных для подключения входных сигналов, потенциально не связанных

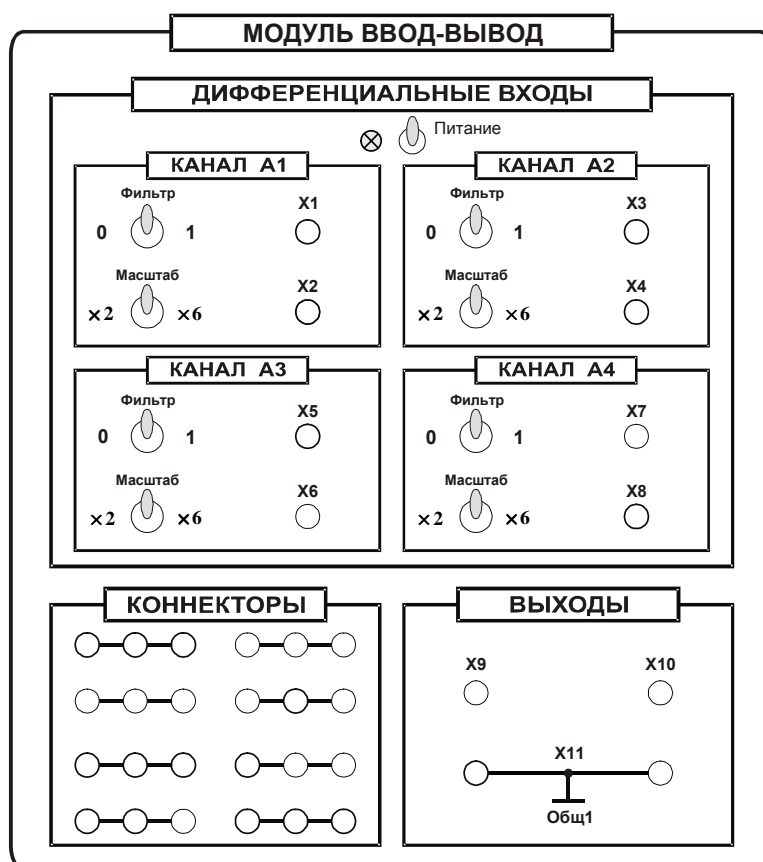


Рис. 1. Лицевая панель модуля «Ввод-вывод»

с землей;

- два гальванически разделенных аналоговых каналов вывода (гнезда X9, X10, X11), предназначенных для управления исследуемыми модулями;
- коннекторы для размножения входных или выходных сигналов.

Каждый аналоговый канал ввода (А1 – А4) содержит два переключателя «Фильтр» и «Масштаб», назначение и положения которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Переключатель	Назначение переключателя	Положение переключателя	Расшифровка положения
Фильтр	Фильтрация входного аналогового сигнала, выделение из него первой гармоники, подавление помех между модулем «Ввод-вывод» и платой L-780М	0	Фильтр выключен
		1	Фильтр включен
Масштаб	Дискретное изменение коэффициента передачи модуля «Ввод-вывод»	×2	Коэффициент деления равен 2. Максимальная амплитуда входного сигнала ±10 В
		×6	Коэффициент деления равен 6. Максимальная амплитуда входного сигнала ±30 В

Верхние гнезда (X1, X3, X5, X7) каналов ввода А1 – А4 (см. рис. 1) соединены с неинвертирующими входами дифференциального усилителя, а нижние (X2, X4, X6, X8) – с инвертирующими входам, поэтому к верхним гнездам следует подключать сигналы по напряжению с положительной полярностью, а к нижним – с отрицательной.

Датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) (рис. 2) предназначены для безопасного измерения и осциллографирования сигналов по напряжению и току при исследовании исследуемых модулей. На гнезда X16 и X17 подаются измеряемые сигналы по напряжению, а на гнезда X19 и X20 – токовые. К верхним гнездам

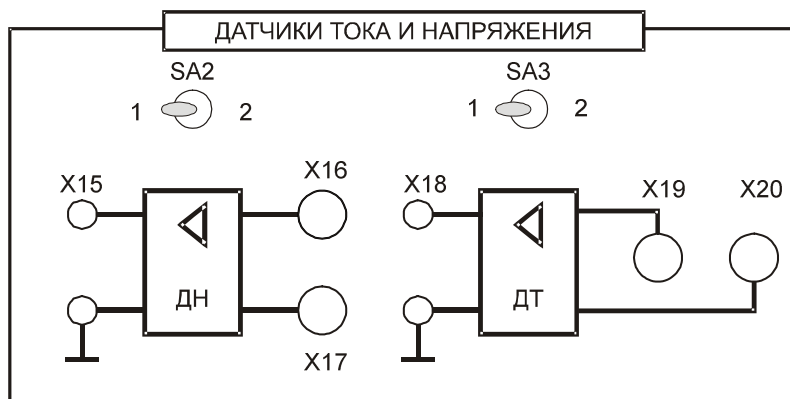


Рис. 2

(X16 и X19) датчиков следует подключать сигналы с положительной полярностью, а к нижним гнездам (X17 и X20) – сигналы с отрицательной полярностью. Выходные сигналы, подключаемые к каналам ввода А1 – А4 (см. рис. 1) или к осциллографу, снимаются с гнезд X15, X18 и общего провода «⊥».

С помощью тумблеров SA2 и SA3 (см. рис. 2) изменяется полоса пропускания датчиков: положение «1» – фильтр включен, положение «2» – фильтр выключен.

Коэффициент преобразования датчиков напряжения $k_H = 40$ В/В, коэффициент преобразования датчиков тока $k_T = 0,25$ А/В.

На рис. 3 представлена функциональная схема проведения лабораторных работ в автоматизированном режиме.

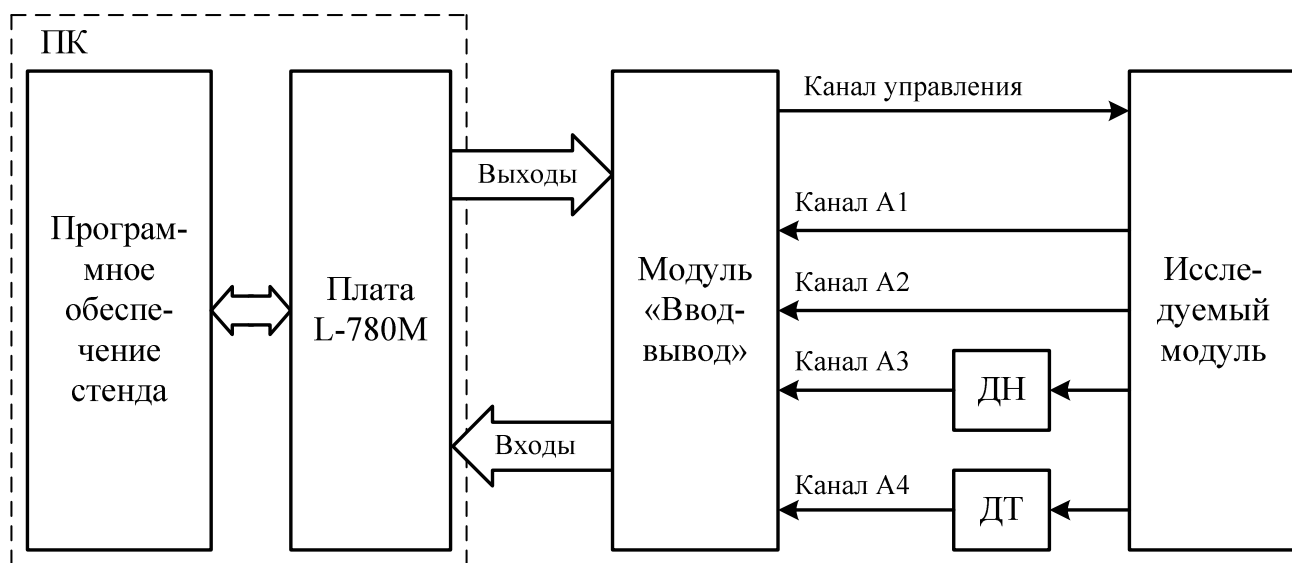


Рис. 3. Функциональная схема проведения лабораторных работ в автоматизированном режиме

Модуль «Ввод-вывод» с тыльной стороны кожуха через разъем соединен с платой L-780M, управление которой осуществляется от персонального компьютера (ПК) при помощи программного обеспечения стенда. Исследуемые сигналы к модулю «Ввод-вывод» подключаются при помощи проводов непосредственно, если амплитуда входных сигналов не превышает уровня ± 30 В, или через датчики напряжения (тока) в противном случае (см. рис. 3). Максимальное количество одновременно подключенных сигналов к модулю «Ввод-вывод» соответствует количеству аналоговых каналов ввода и равно четырем. В автоматическом режиме работы стенда управление исследуемым модулем осуществляется от первого выхода модуля «Ввод-вывод» (на рис. 3 – это канал управления).

Программное обеспечение стенда

Программное обеспечение стенда состоит из трех программных продуктов: «LGraph», «Менеджер управления» и «MathCAD».

Программа «*LGraph*» обеспечивает функцию осциллографирования синусоидальных и несинусоидальных сигналов в режиме реального времени, а также функцию запоминающего осциллографа, обеспечивающего запись и просмотр мгновенных значений сигналов в течение заданного интервала времени.

Программа «Менеджер управления» предназначена для измерения и обработки входных сигналов в режиме реального времени, а также для снятия экспериментальных зависимостей (регулируемых, внешних и энергетических) в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Программа «*MathCAD*» обеспечивает наглядное представление полученных результатов с учетом коэффициентов датчиков, модуля «Ввод-вывод» и построения требуемых экспериментальных зависимостей в реальном масштабе.

ОПИСАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ СТЕНДА

Описание работы с программой «LGraph»

Программа «*LGraph*» обеспечивает функцию осциллографирования синусоидальных и несинусоидальных сигналов в режиме реального времени, а также функцию запоминающего осциллографа, обеспечивающего запись и просмотр мгновенных значений сигналов в течение заданного интервала времени.

Основные возможности программы «*LGraph*»:

- регистрация аналоговых данных по 4 каналам с аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в режиме реального времени;
- запись и сохранение входных сигналов в цифровом виде с последующим их просмотром;
- спектральный анализ одного из записанных сигналов.

Окно осциллоскоп программы «*LGraph*» представлено на рис. 1.

Окно осциллоскоп содержит следующие основные элементы управления.

1 – поле, в котором указана рабочая частота АЦП платы L-780M.

Внимание! Перед началом работы с программой «*LGraph*» проверьте, что рабочая частота АЦП равна 100,310 кГц.

2 – переключатель масштаба временной развертки (изменяется от 5 мкс/дел до 1 с/дел в 17 диапазонах).

3 – включение или выключение режима непрерывного просмотра сигналов в режиме реального времени (установленная галочка напротив поля автозапуск означает, что непрерывный режим включен).

4 – кратковременное обновление сигналов в окне «Осциллоскоп» (кнопка «Готов» доступна только тогда, когда снята галочка напротив поля автозапуск).

5 – переключатель между каналами осциллоскопа (доступно четыре канала: *A*, *B*, *C* или *D*).

6 – переключатель, осуществляющий подключение физического номера канала АЦП (от 1 до 16) к одному из четырех каналов осциллоскопа (*A*, *B*, *C* или *D*).

По умолчанию к каналу *A* осциллоскопа всегда подключен 1 канал АЦП, к каналу *B* – 2 канал АЦП, к каналу *C* – 3 канал АЦП и к каналу *D* – 4 канал АЦП, что совпадает с номерами каналов, указанных на лицевой панели модуля «Ввод-вывод».

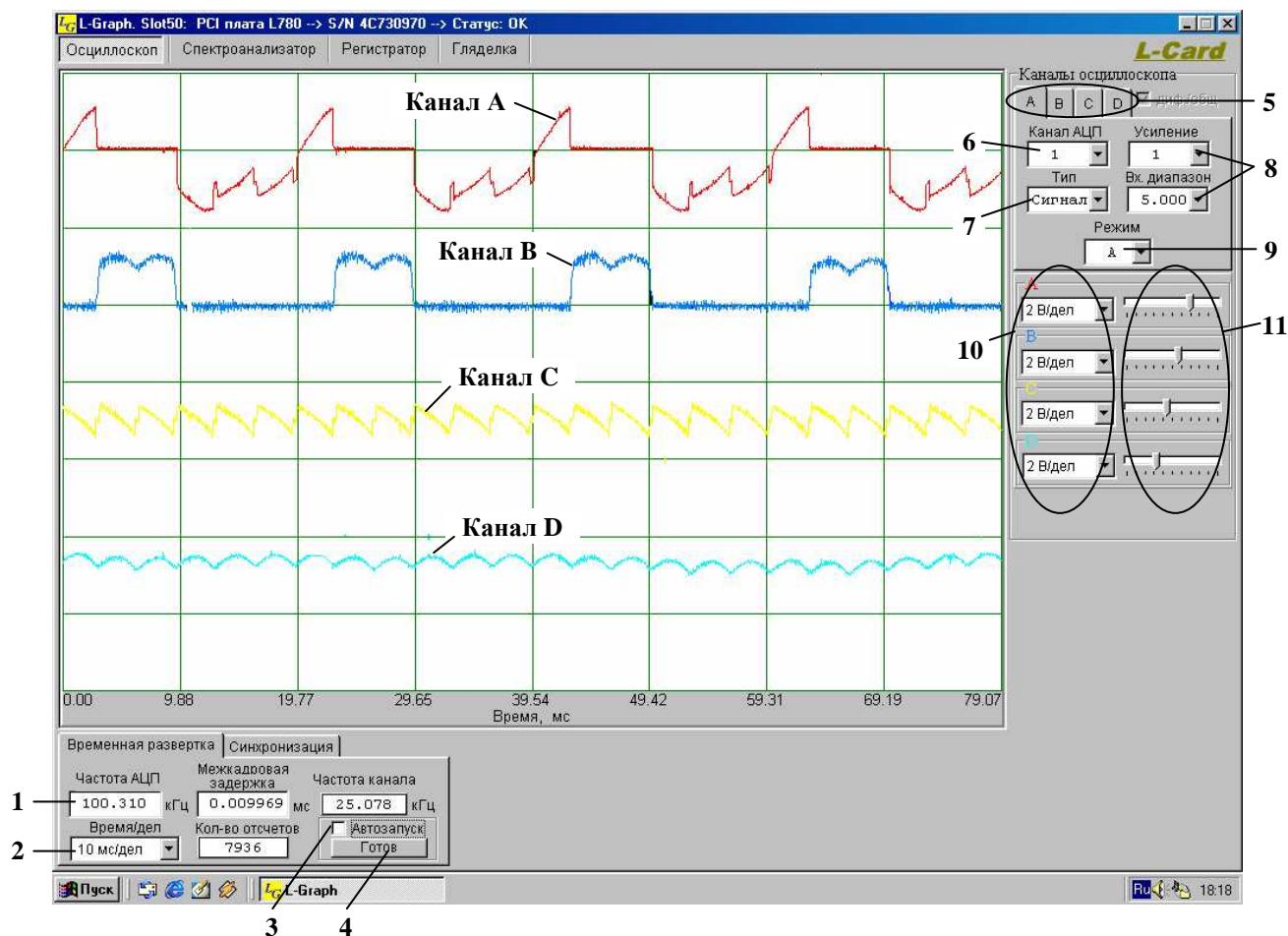


Рис. 1. Окно осциллоскоп программы «LGraph»

7 – переключатель, позволяющий выбрать два режима «Сигнал» или «Земля». В режиме «Сигнал» – регистрирующий сигнал непрерывно отображается в окне «Осциллоскоп». В режиме «Земля» – вход выбранного канала (*A*, *B*, *C* или *D*) отключается от источника сигнала и заземляется. Данный режим используется для установки в каналах нулевого уровня.

8 – изменение коэффициента усиления (диапазона входного напряжения) для входных каналов. По умолчанию установлен коэффициент усиления 1, что соответствует диапазону входного напряжения ± 5 В для платы *L-780M*.

Внимание! Увеличение коэффициента усиления приводит к снижению диапазона входного напряжения и, следовательно, к искажению временных диаграмм сигналов, поэтому при работе с программой «LGraph» студентам не рекомендуется изменять данный параметр.

9 – изменение режима работы выбранного канала. Так, например, для канала *A* доступны следующие режимы: *A* – в окне «Осциллоскоп» наблюдается реальный сигнал, подаваемый на канала *A*; $|A|$ – выделение модуля из сигнала, подаваемого

на канала A ; $A + B$, $A - B$ – алгебраическая сумма (разность) сигналов, подаваемых на каналы A и B .

10 – дискретное изменение масштаба по вертикали для каналов A , B , C и D от 5 мВ/дел до 5 В/дел в 10 диапазонах.

11 – установка смещения (нулевого уровня) для каналов A , B , C и D . Установку нулевого уровня в каналах выполнять при переключении переключателя (7) в положение «Земля».

Вкладка «Синхронизация» окна осциллоскоп (рис. 2) позволяет произвести настройку параметров синхронизации.

1 – выбор режима синхронизации:

а) внешняя синхронизация – запуск регистрации от синхроимпульса, поступившего на вход внешней цифровой синхронизации $TRIG$ (данный режим не реализован на аппаратном уровне);

б) кадровая синхронизация – запуск единичного цикла опроса выбранных каналов (кадра) от синхроимпульса, поступившего на вход внешней цифровой синхронизации $TRIG$ (данный режим не реализован на аппаратном уровне);

в) внутренняя синхронизация – начало регистрации с событием на входе выбранного канала;

г) без синхронизации – синхронизация выключена. По умолчанию при запуске программы установлен данный режим.

2 – выбор типа синхронизации:

а) по уровню – запуск регистрации события на выбранном канале наступает в случае достижения сигналом заданного значения (рис. 3);

б) по переходу – запуск регистрации события на выбранном канале наступает только в момент перехода сигналом заданного уровня в указанном направлении (см. рис. 6).

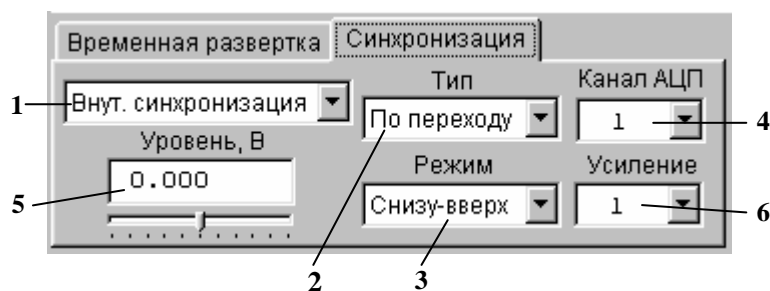


Рис. 2. Вкладка «Синхронизация» окна осциллоскоп

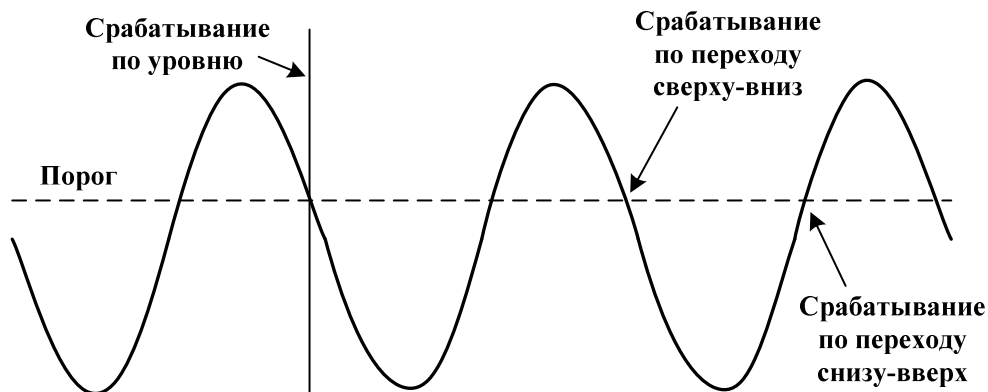


Рис. 3. Схема срабатывания начала ввода данных в разных режимах синхронизации

3 – выбор режима синхронизации (направление срабатывания):

а) снизу-вверх – синхронизация по переднему фронту импульса;

б) сверху-вниз – синхронизация по заднему фронту импульса.

4 – выбор канала АЦП (от 1 до 16), на котором отслеживается событие для синхронизации старта регистрации.

5 – установка уровня (порога) срабатывания в режимах синхронизации по уровню и по переходу.

6 – выбор коэффициента усиления для выбранного канала с целью повышения точности срабатывания синхронизации.

Запуск программы «*LGraph*» осуществляется либо с рабочего стола операционной системы *Windows* щелчком левой кнопки мыши по ярлыку *LGraph*, либо из меню «Пуск» → «Программы» → «*L-Card SDK*» → «*LGraph*».

Последовательность работы с программой «*LGraph*»:

– установить требуемый масштаб временной развертки переключателем (2) (см. рис. 1);

– установить требуемый масштаб по вертикали для каналов *A*, *B*, *C* и *D* при помощи переключателя (10);

– установить переключатель тип сигнала (7) в положение «Земля» и при помощи движка (11) для настраиваемого канала установить его начальный уровень. Перевести переключатель (7) в положение «Сигнал». Аналогичные настройки произвести для остальных каналов;

– настроить синхронизацию каналов. Для этого из выпадающего списка (1) выбрать «Внут. синхронизация» (см. рис. 2) и при помощи (4) выбрать номер канала, по которому будет осуществляться синхронизация. Установить тип синхронизации (2) в положение «По переходу», а режим синхронизации (3) – «Снизу-вверх»;

– снять галочку напротив поля автозапуск (см. рис. 1), чтобы остановить процесс изменения сигналов в окне «Осциллоскоп»;

– скопировать содержимое окна «Осциллоскоп» в буфер обмена компьютера, нажав кнопку «*Print Screen*» на клавиатуре ПК;

– произвести обработку скопированного изображения при помощи любой графической программы (*Paint*, *Adobe Photo Shop* и др.). Поместить обработанную осциллограмму в отчет лабораторной работы.

Описание работы с программой «Менеджер управления»

Функционально, программный продукт «Менеджер управления» решает следующие основные задачи:

– обработка входных сигналов и отображение результатов в режиме реального времени с целью вычисления энергетических показателей таких как: активная мощность, полная мощность, фазовый сдвиг между двумя сигналами и $\cos\varphi$, а также выделение первой гармоники входного сигнала;

- измерение действующих или средних значений входных сигналов в режиме реального времени;
- регистрация зависимостей между значениями входных сигналов в автоматическом и полуавтоматическом режимах и построение экспериментальных регулировочных, внешних и энергетических характеристик.

При проведении лабораторных работ по преобразовательной технике экспериментальные регулировочные характеристики снимаются в автоматическом режиме (возможен и полуавтоматический режим). С этой целью в программе «Менеджер управления» задействован контроллер управления, который программным способом позволяет сформировать управляющий сигнал, имеющий ступенчатую форму, для управления исследуемым модулем. Таким образом, дискретно изменяющийся входной сигнал в исследуемом модуле приводит к изменению его выходных координат (токов, напряжений), которые обрабатываются, измеряются и регистрируются программой «Менеджер управления» с последующим сохранением экспериментальных данных в памяти компьютера.

Внешние характеристики полупроводниковых преобразователей снимаются в полуавтоматическом режиме. При этом отсутствует контроллер управления, а ток в цепи нагрузки студент регулирует вручную, записывая требуемые точки экспериментальной зависимости в память ПК при помощи программы «Менеджер управления».

Запуск программы «Менеджер управления» осуществляется либо с рабочего стола операционной системы *Windows* нажатием левой кнопки мыши по ярлыку Менеджер управления, либо из меню «Пуск» → «Программы» → «Информационно-измерительный комплекс» → «Менеджер управления».

Работа с программой «Менеджер управления» начинается с загрузки перечня лабораторных работ и с появления в верхнем углу дисплея ПК прямоугольного указателя «Авт. управление» (рис. 4).

Функции программы «Менеджер управления» доступны пользователю через контекстное меню, вызываемое щелчком правой кнопки мыши (см. рис. 4).

Команда «*Мониторинг сигналов*» выводит окно (рис. 5), динамически отображающее состояние физических и виртуальных сигналов, таких как дискретные и аналоговые входы и выходы платы ввода-вывода L-780M, состояние сигнальной шины, величины виртуальных источников аналоговых сигналов.

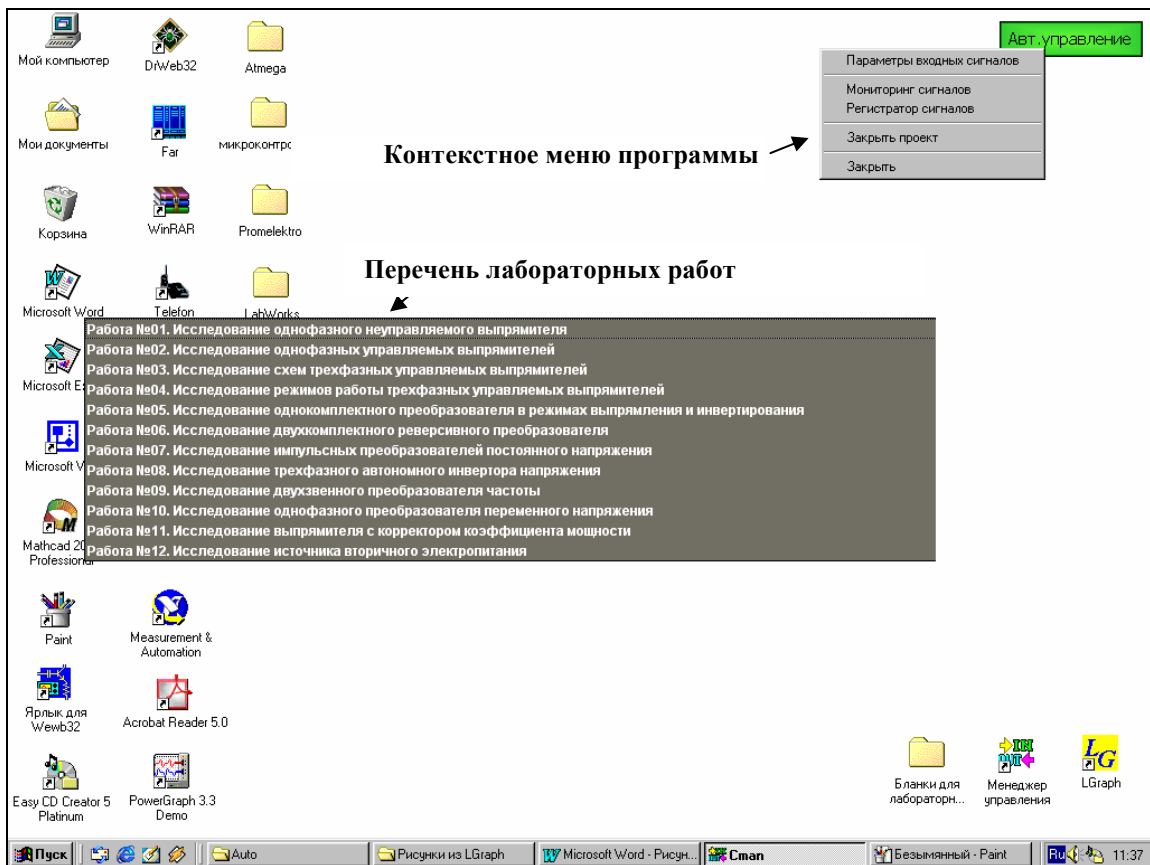


Рис. 4. Окно перечня лабораторных работ программы «Менеджер управления»

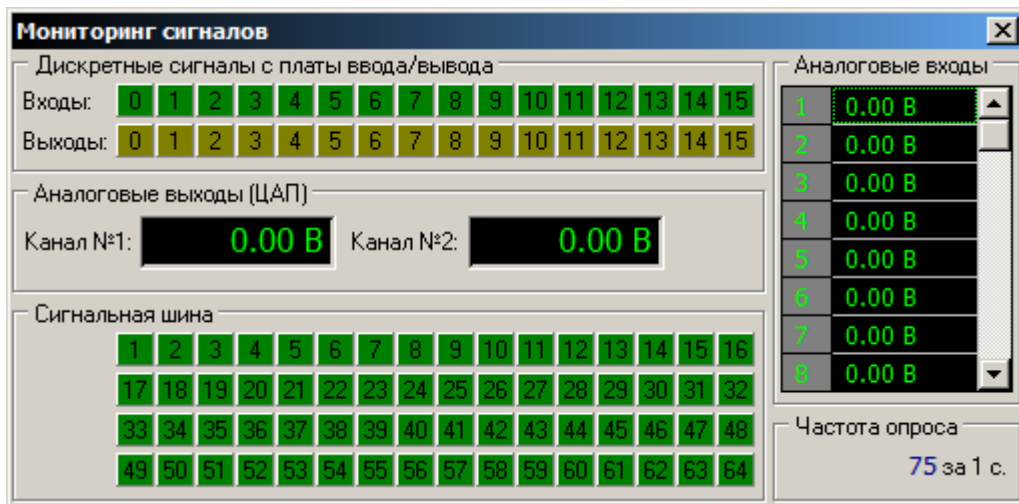


Рис. 5. Окно «Мониторинг сигналов»

Команда «Регистратор сигналов» открывает окно управления регистратором входных сигналов (рис. 6), которое позволяет записывать экспериментальные данные в память компьютера в полуавтоматическом режиме (например, при снятии внешних характеристик). Для запуска регистратора необходимо нажать на

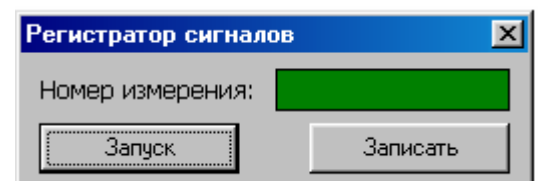


Рис. 6. Окно «Регистратор сигналов»

кнопку «*Запуск*». При этом надпись на кнопке изменится на «*Останов*». Нажимая на кнопку «*Запись*», в окне «Номер измерения» будет отображаться количество измеренных точек. Для останова регистратора нажмите на кнопку «*Останов*».

Команда «*Параметры входных сигналов*» вызывает окно настройки параметров входных сигналов (рис. 7), позволяющее для каждого канала выбрать тип выходного сигнала: среднее или действующее значение и, при необходимости, указать базовую частоту входного сигнала (в случае, когда она отлична от 50 Гц).

Внимание! При выполнении лабораторной работы студентам запрещается изменять параметры входных сигналов.

Команда «*Закреть проект*» позволяет выгрузить из памяти рабочий проект и перейти к окну перечня лабораторных работ (см. рис. 4).

Команда «*Закреть*» осуществляет выход из программы «Менеджер управления».

После выбора лабораторной работы из предлагаемого перечня (см. рис. 4) студенту необходимо указать вид снимаемой экспериментальной характеристики: внешняя или регулировочная. При выборе «*Регулировочные характеристики*» на экране дисплея загрузиться рабочее окно лабораторной работы с цифровыми измерительными приборами, расположенными в верхней части экрана, и виртуальным контроллером управления (рис. 8).

На контроллере управления имеются две кнопки: «*Load*» и «*Run/Stop*».

Кнопка «*Load*» позволяет загрузить в контроллер текст управляющей программы, с помощью которой осуществляется автоматическое управление исследуемым модулем.

Внимание! Во время выполнения лабораторных работ студентам запрещается изменять и загружать программу в контроллер.

Кнопка «*Run/Stop*» позволяет запустить управляющую программу, загруженную в контроллер. Одновременно с этим программа «Менеджер управления» автоматически начинает обрабатывать и записывать выходные координаты исследуемого модуля. При этом на панели контроллера загорается зеленый светодиод

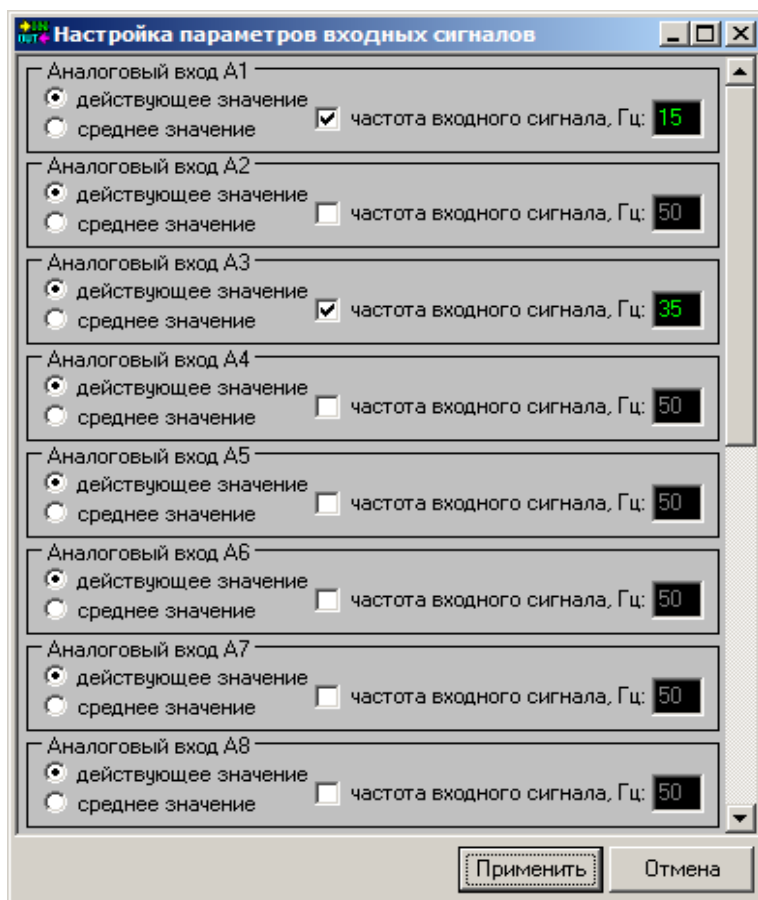


Рис. 7. Окно настройки «Параметры входных сигналов»

R/S, а на индикаторе *STEP* отображается текущий шаг, на котором находится контроллер. Повторное нажатие «Run/Stop» останавливает работу контроллера, а на индикаторе *STEP* отображается «----».

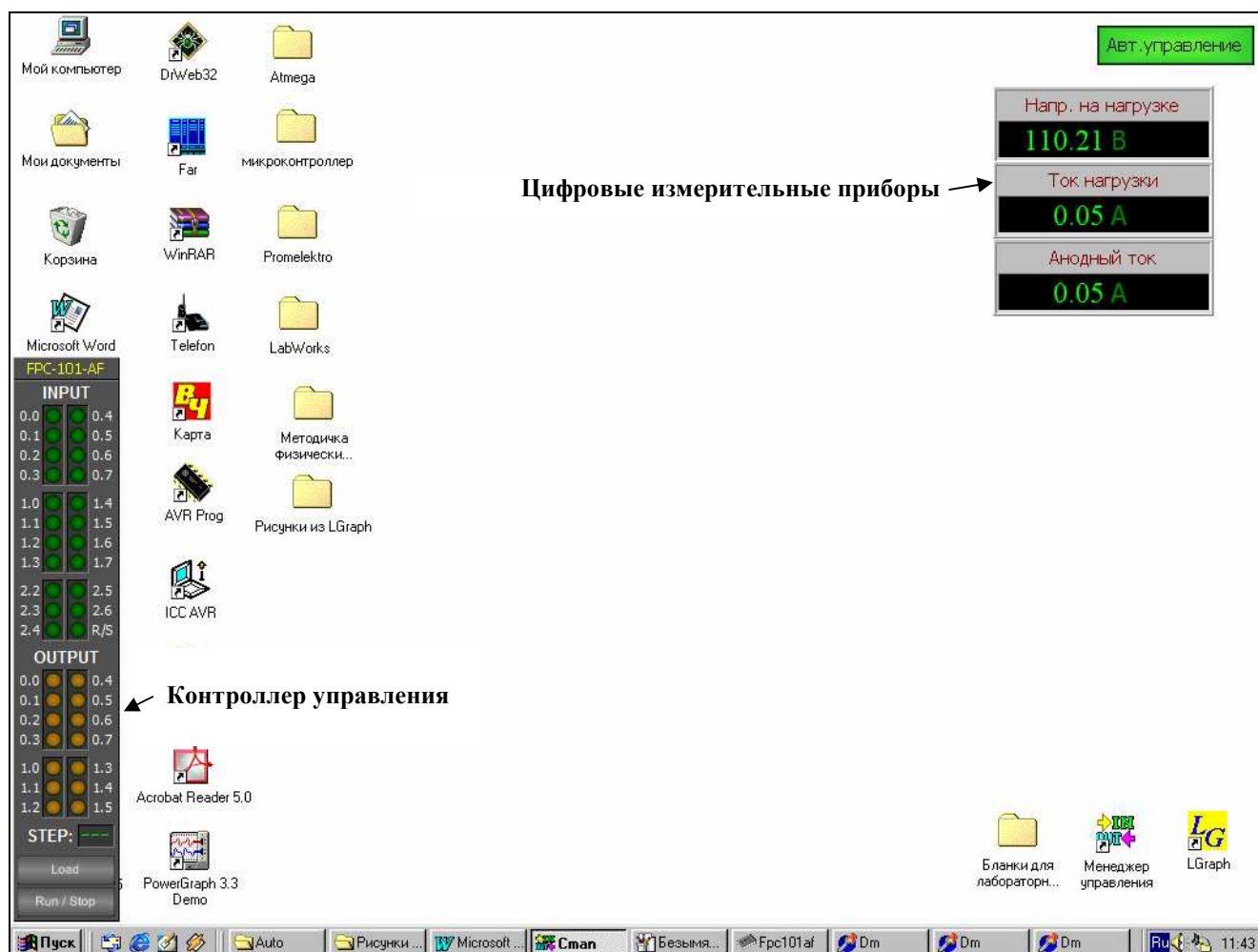


Рис. 8. Рабочее окно лабораторной работы для снятия регулировочной характеристики в автоматическом режиме

После отработки в контроллере управляющей программы автоматически загружается окно «Просмотр измерений» с экспериментально снятыми зависимостями (рис. 9).

Вертикальная и горизонтальные оси окна «Просмотр измерений» проградуированы в вольтах. Для вычисления реальной физической величины используются коэффициенты пересчета, возникающие вследствие применения датчиков напряжения и тока, шунтов в измерительных цепях, а также модуля «Ввод-вывод» с дискретно изменяющимися коэффициентами передачи. Коэффициенты пересчета для измеряемых сигналов указаны в левой части окна «Просмотр измерений» в круглых скобках со знаком умножения \times . Это значит, что для перехода к реальным физическим величинам значения, полученные в окне «Просмотр измерений», должны быть умножены на соответствующие коэффициенты пересчета.

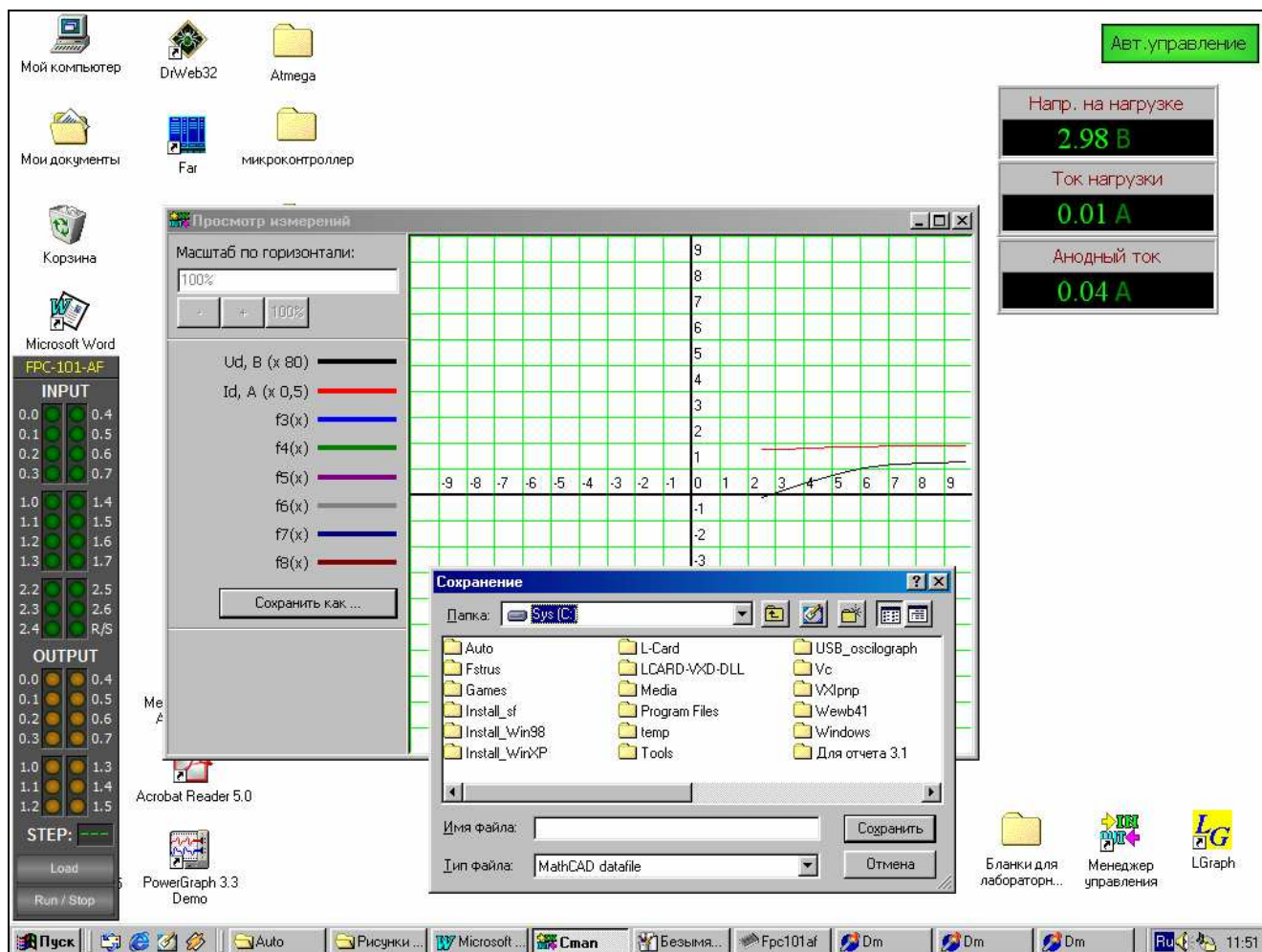


Рис. 9. Рабочее окно лабораторной работы для снятия регулировочной характеристики в автоматическом режиме совместно с окном «Просмотр измерений»

Кнопка «Сохранить как ...» окна «Просмотр измерений» (см. рис. 9) позволяет сохранить полученные результаты в файл одного из двух типов: *MathCAD datafile* или *Microsoft Excel*. По умолчанию данные сохраняются в файл формата *MathCAD*, что позволяет производить их дальнейшую обработку мощными средствами данного пакета. Для сохранения данных в пакете «*MathCAD*» в появившемся окне «Сохранение» (см. рис. 9) в поле «Имя файла» необходимо ввести имя сохраняемого файла, а в поле «Тип файла» выбрать «*MathCAD datafile*» и нажать кнопку «Сохранить».

После снятия регулировочных характеристик в автоматическом режиме в контекстном меню программы «Менеджер управления» необходимо выбрать команду «Закреть проект» (см. рис. 4), автоматически на экране монитора появится окно «Перечня лабораторных работ» (см. рис. 4). Из перечня предлагаемых лабораторных работ выбрать выполняемую работу, а затем указать на надпись «Внешние характеристики». На дисплее компьютера автоматически загрузится рабочее окно лабораторной работы для снятия внешних характеристик в полуавтоматическом режиме (рис. 10), состоящее из цифровых измерительных приборов и окна «Регистратор сигналов».

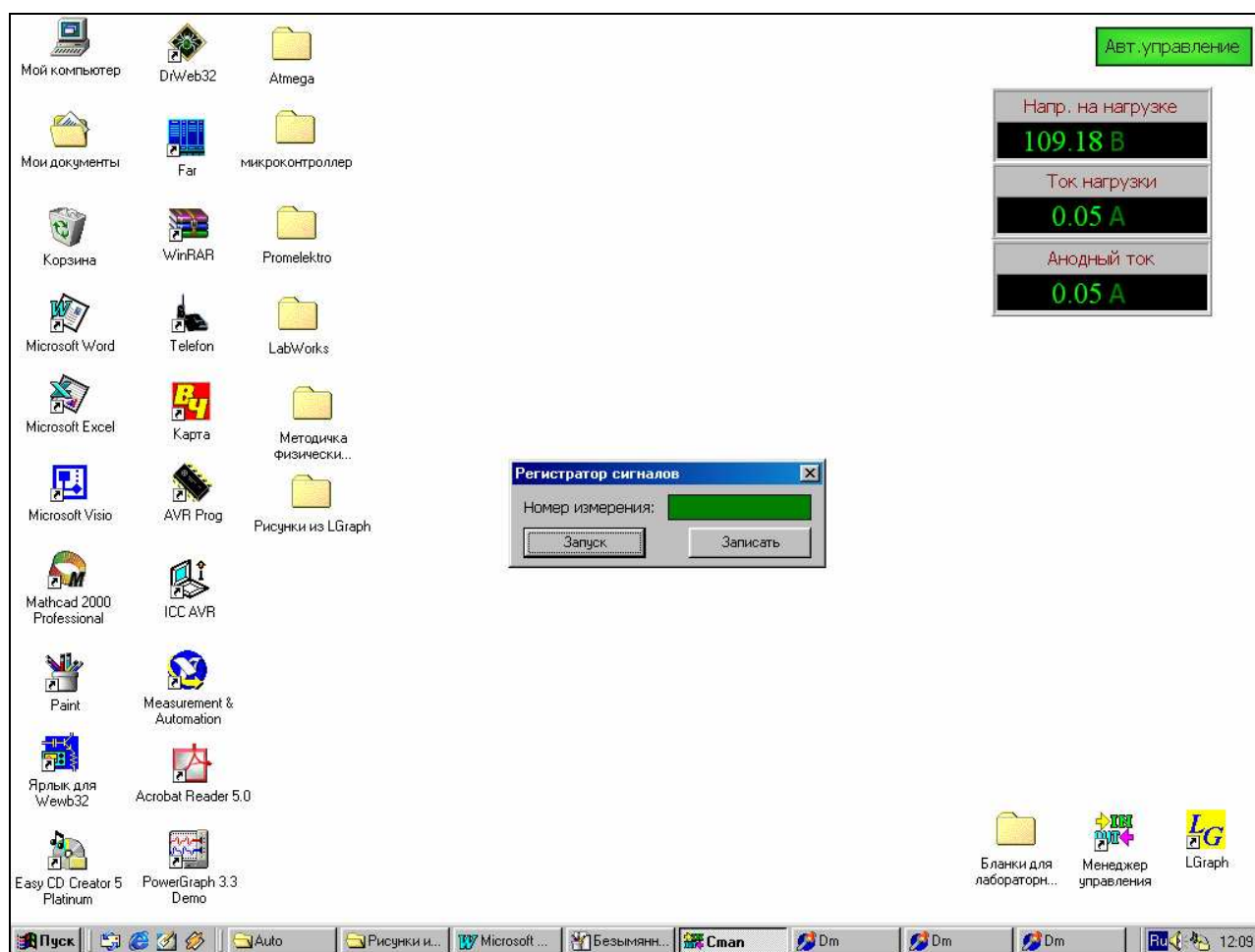


Рис. 10. Рабочее окно лабораторной работы для снятия внешних характеристик в полуавтоматическом режиме

Для запуска «Регистратора сигналов» необходимо нажать на кнопку «Запуск». При этом надпись на кнопке изменится на «Останов». Изменяя ток в цепи нагрузки исследуемого модуля и нажимая на кнопку «Запись», в окне «Номер измерения» будет отображаться количество измеренных точек. Для останова регистратора нажмите на кнопку «Останов», автоматически загрузится окно «Просмотр измерений» (см. рис. 9) с экспериментально снятыми зависимостями. Сохраните экспериментальные данные в памяти компьютера, нажав на кнопку «Сохранить как...» в окне «Просмотр измерений», с целью дальнейшей обработки полученных результатов в программе *MathCAD*. Для выхода из программы «Менеджер управления» в контекстном меню выберите команду «Закреть» (см. рис. 4).

Обработка экспериментальных данных в программе *MathCAD*

Обработка экспериментальных данных, сохраненных в файл при помощи программы «Менеджер управления», осуществляется средствами программы «*MathCAD*». Для каждой лабораторной работы в программе «*MathCAD*» создан электронный отчет – программа обработки данных, которая позволяет автоматически с учетом коэффициентов пересчета вычислять реальные физические величины,

рассчитывать энергетические показатели преобразователей (например, коэффициент полезного действия η , коэффициент мощности χ , коэффициент несинусоидальности ν и другие), а также строить графики экспериментальных зависимостей.

Программы обработки данных хранятся на диске C:\Auto\Projects\Бланки для лабораторных работ. Из данной папки студент должен найти папку, совпадающую с названием выполняемой лабораторной работы, и скопировать ее в свою рабочую директорию, например, на диск C:\ Мои документы. Затем запустить программу обработки данных: сначала файл, обеспечивающий автоматическое построение регулировочных характеристик, а затем – внешних характеристик.

Внимание! Студентам запрещается пересохранять и работать с файлами, находящимися на диске C:\Auto\Projects\Бланки для лабораторных работ.

Окно пакета «MathCAD» с загруженной в него программой обработки данных «Регулировочные характеристики ТП» представлены на рис. 11.

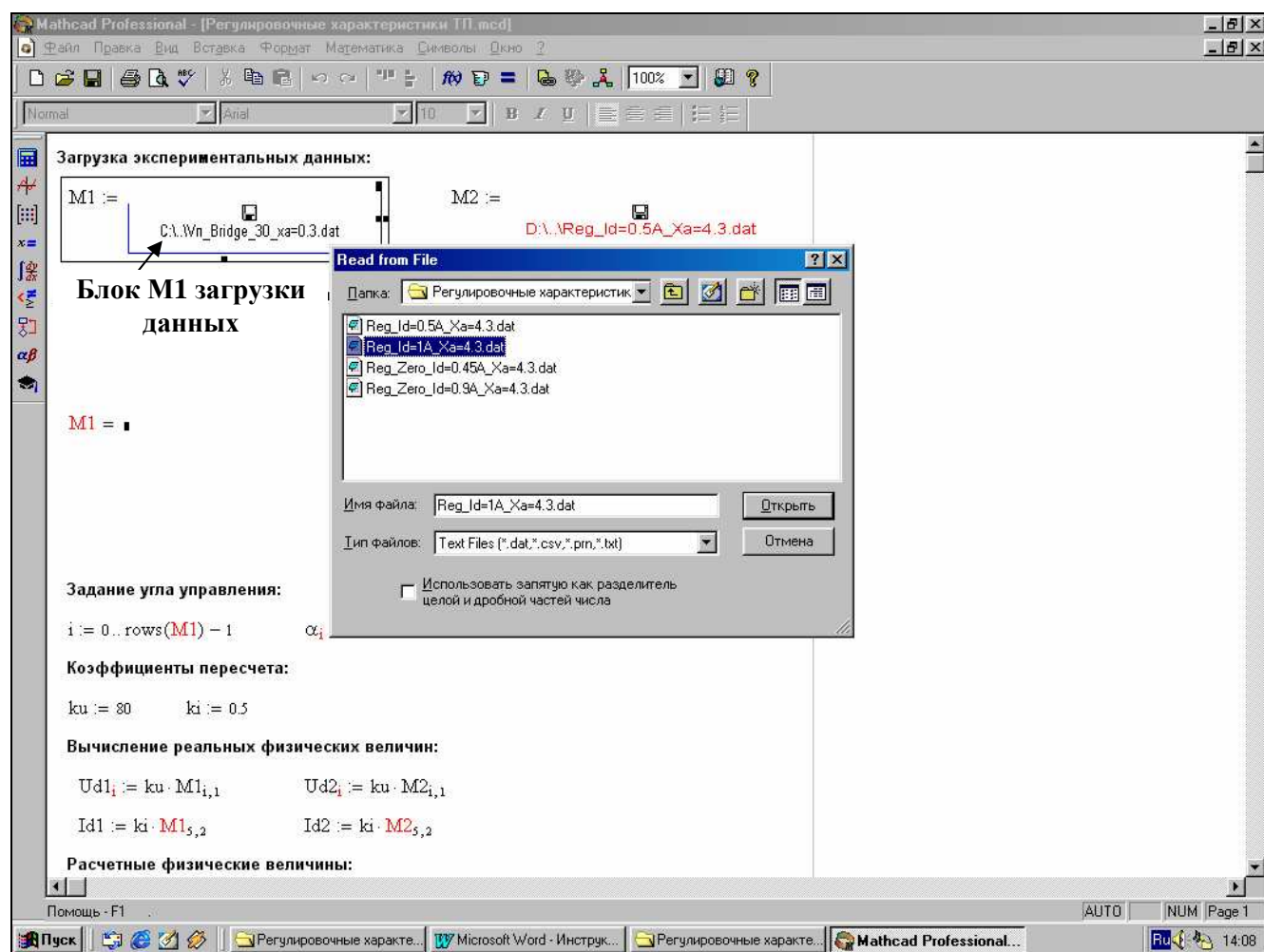


Рис. 11. Окно пакета «MathCAD» с загруженной в него программой обработки данных «Регулировочные характеристики ТП»

Для передачи экспериментальных данных в программу «MathCAD» студенту необходимо щелкнуть двойным нажатием левой кнопкой мыши по блоку «M1 за-

грузки данных» (см. рис. 11). На экране компьютера появится окно чтения данных из файла «*Read from File*», в котором следует выбрать имя файла с данными, сохраненного при помощи программы «Менеджер управления», и нажать на кнопку «Открыть» (см. рис. 11).

В результате в окне программы «*MathCAD*» появится матрица M1 с экспериментальными данными

$$M1 =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2.52	-0.11	1.84	0	0	0	0	0	0	26.8
1	3.31	0.21	1.82	0	0	0	0	0	0	22.5
2	4.09	0.51	1.92	0	0	0	0	0	0	18.5
3	5.35	0.87	1.94	0	0	0	0	0	0	14.2
4	6.14	1.06	1.96	0	0	0	0	0	0	10.2
5	7.17	1.23	1.98	0	0	0	0	0	0	6.28
6	9.76	1.3	1.97	0	0	0	0	0	0	2

Количество строк матрицы зависит от количества записанных точек во время проведения эксперимента. Столбцы матрицы соответствуют физическим величинам, измеренным в вольтах. Для перехода к реальным физическим величинам в программе используются коэффициенты пересчета.

Программа обработки данных может содержать не один блок загрузки данных (M1), а несколько (см. рис. 11). Это сделано с целью построения на одном графике сразу нескольких экспериментальных зависимостей.

Ниже приведен текст программы «*MathCAD*» с расчетными экспериментальными данными и построенными регулировочными характеристиками для трехфазной мостовой схемы, работающей на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС, при выполнении лабораторной работы «Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей».

1. Загрузка экспериментальных данных:

M1 :=  D:\...\Reg_Id=1A_Xa=4.3.dat M2 :=  D:\...\Reg_Id=0.5A_Xa=4.3.dat

2. Матрицы экспериментальных данных:

$$M1 =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2.52	-0.11	1.84	0	0	0	0	0	0	26.8
1	3.31	0.21	1.82	0	0	0	0	0	0	22.5
2	4.09	0.51	1.92	0	0	0	0	0	0	18.5
3	5.35	0.87	1.94	0	0	0	0	0	0	14.2
4	6.14	1.06	1.96	0	0	0	0	0	0	10.2
5	7.17	1.23	1.98	0	0	0	0	0	0	6.28
6	9.76	1.3	1.97	0	0	0	0	0	0	2

$$M2 =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2.52	-0.01	0.86	0	0	0	0	0	0	26.7
1	3.31	0.3	0.89	0	0	0	0	0	0	22.4
2	4.09	0.59	0.94	0	0	0	0	0	0	18.5
3	5.35	0.96	0.98	0	0	0	0	0	0	14.2
4	6.14	1.15	0.99	0	0	0	0	0	0	10.2
5	7.17	1.32	1.02	0	0	0	0	0	0	6.26
6	9.76	1.39	1.03	0	0	0	0	0	0	1.97

3. Задание угла управления:

$$i := 0..rows(M1) - 1 \quad \alpha_i := 90 - i \cdot 15$$

4. Коэффициенты пересчета:

$$k_u := 80 \quad k_i := 0.5$$

5. Вычисление реальных физических величин:

$$Ud1_i := k_u \cdot M1_{i,1} \quad Ud2_i := k_u \cdot M2_{i,1}$$

$$Id1 := k_i \cdot M1_{5,2} \quad Id2 := k_i \cdot M2_{5,2}$$

6. Расчетные физические величины:

$$Id1 = 0.99$$

$$Id2 = 0.51$$

$$\alpha_i =$$

$$Ud1_i =$$

$$\alpha_i =$$

$$Ud2_i =$$

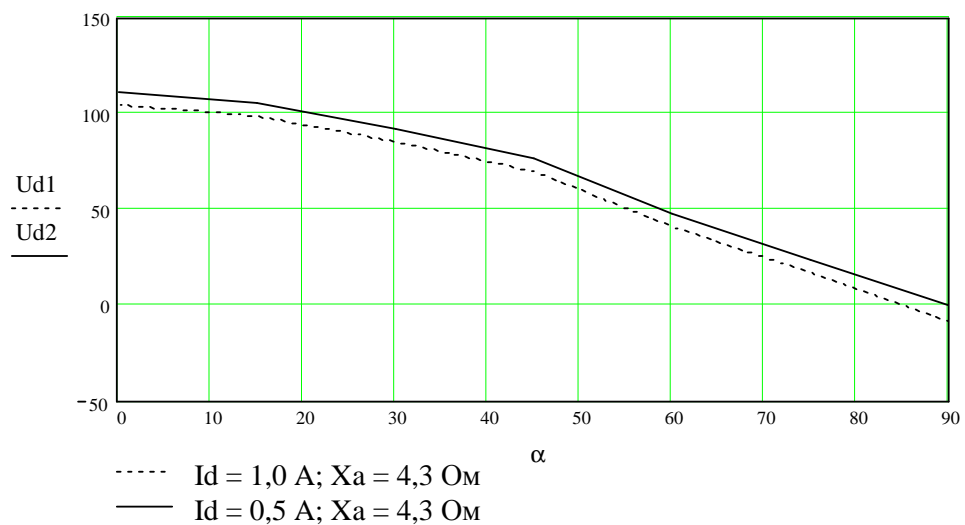
90
75
60
45
30
15
0

-8.8
16.8
40.8
69.6
84.8
98.4
104

90
75
60
45
30
15
0

-0.8
24
47.2
76.8
92
105.6
111.2

7. Регулировочные характеристики трехфазного мостового выпрямителя при различных токах нагрузки:



Работа № 3А
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ТРЕХФАЗНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик выпрямителей, выполненных по трехфазной схеме с нулевым выводом и трехфазной мостовой схеме, при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС в режиме непрерывного тока.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Преобразователь частоты», «Мультиметры», «Измеритель мощности», «Ввод-вывод», а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M.

Описание лабораторной установки, а также порядок ее включения и выключения подробно описаны в работе № 3 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. *Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:*

а) собрать схему для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены измерительные приборы, а также датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 1

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение фазного напряжения U_1 и первичного тока I_1 трансформатора	$PW1$	$U_1 \sim 300 \text{ В};$ $I_1 \sim 0,2 \text{ А}$	Измеритель мощности
Действующее значение вторичного напряжения трансформатора U_2	$PV1$	$\sim 200 \text{ В}$	Мультиметры

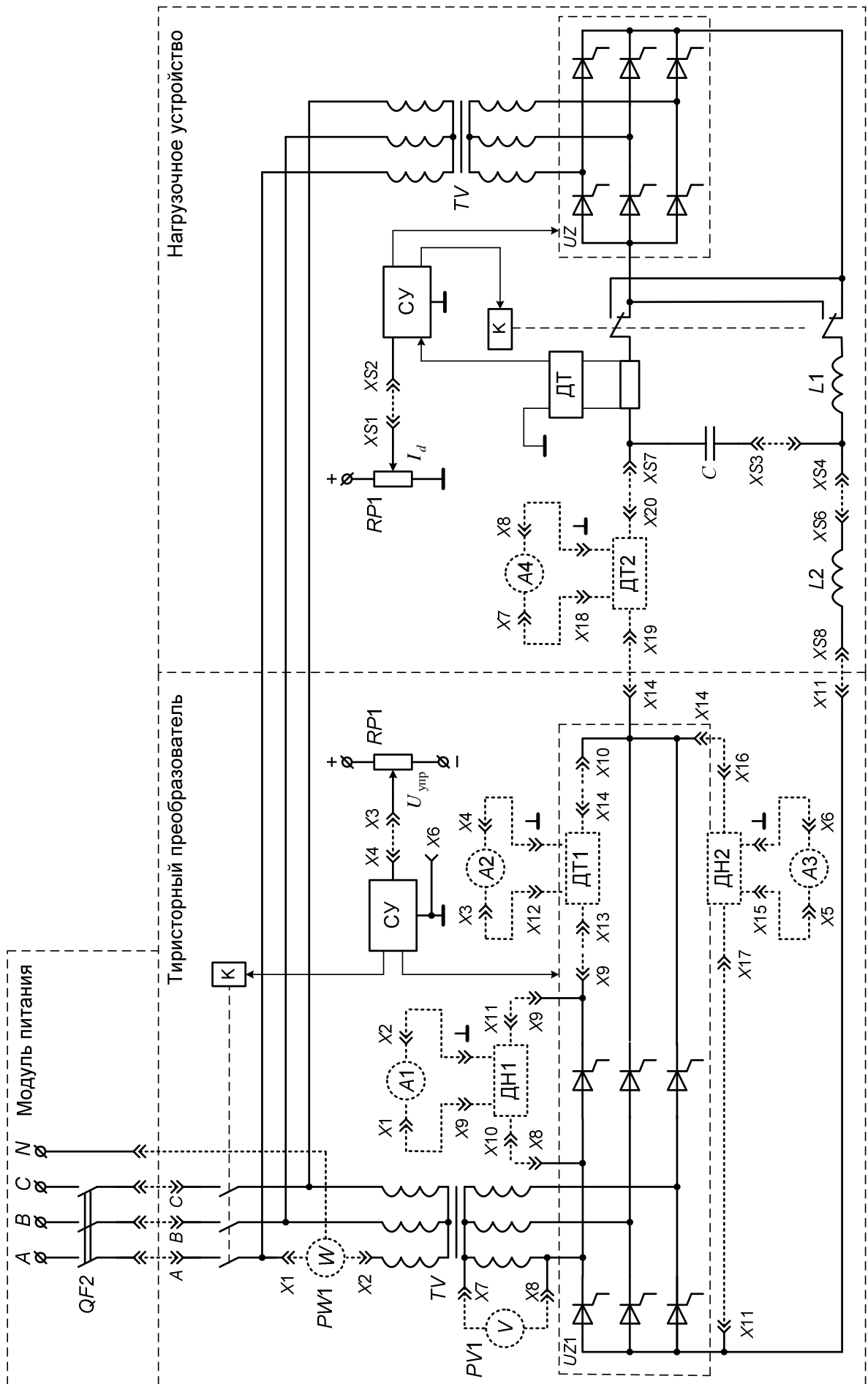


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

Мгновенное значение анодного напряжения u_a	ДН1	–	Преобразователь частоты
Мгновенное значение анодного тока i_a	ДТ1	–	Преобразователь частоты
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН2	–	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ2	–	Тиристорный преобразователь

Подключить модуль «Ввод-вывод» к датчикам напряжения (ДН1 – ДН2) и датчикам тока (ДТ1 – ДТ2) в исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
А1	Мгновенное значение анодного напряжения u_a	ДН1 / X9 – « \perp »	0 (выкл.)	$\times 2$
А2	Среднее значение анодного тока I_a	ДТ1 / X12 – « \perp »	0 (выкл.)	$\times 2$
А3	Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	ДН2 / X15 – « \perp »	0 (выкл.)	$\times 2$
А4	Среднее значение выпрямленного тока I_d	ДТ2 / X18 – « \perp »	0 (выкл.)	$\times 2$

Тумблеры SA2 и SA3 датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 1;

б) снять осциллограммы анодного тока i_a , анодного напряжения u_a , выпрямленного напряжения u_d и тока i_d при помощи программы «LGraph». Для этого выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 3, часть 1). Включить тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Измеритель мощности» и «Ввод-вывод» соответственно. Потенциометром RP1 в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления α_1 (по прибору P1). Запустить и настроить программу «LGraph». Потенциометром RP1 в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток нагрузки I_d , значение которого измерять при помощи программы «LGraph» с учетом коэффициентов датчика тока и модуля «Ввод-вывод». Сохранить времен-

ные диаграммы в памяти компьютера. Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

в) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера $SA1$ в модуле «Тиристорный преобразователь». Включить автомат $QF2$ «Модуля питания», и снова снять осциллограммы анодного тока i_a , анодного напряжения u_a , выпрямленного напряжения u_d и тока i_d при заданном угле α_1 и токе нагрузки I_d . Сравнить углы коммутации γ . Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания». В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер $SA1$ в положение, соответствующее заданным параметрам трансформатора (см. таблицу вариантов);

г) закрыть программу «*LGraph*», и запустить программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей» → «Регулировочные характеристики». Включить автомат $QF2$ «Модуля питания». С помощью виртуальных измерительных приборов программы «Менеджер управления» сделать замеры среднего значения анодного тока I_a и выпрямленного напряжения U_d для заданного тока I_d , угла α_1 и индуктивности рассеяния трансформатора x_a . Первичный ток I_1 трансформатора измерить измерителем мощности $PW1$. Вторичное напряжение U_2 трансформатора измерить при $I_d \approx 0$ вольтметром $PV1$. Сравнить полученные значения с расчетными;

д) снять регулировочные характеристики выпрямителя $U_d = F(\alpha)$ при двух значениях тока нагрузки (номинальном и половине номинального) в автоматическом режиме. Для этого разорвать перемычку между гнездами $X3 - X4$ в модуле «Тиристорный преобразователь», и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу SU тиристорного преобразователя, соединив гнездо $X9$ модуля «Ввод-вывод» с гнездом $X4$ модуля «Тиристорный преобразователь», а также гнезда $X11$ с $X6$ этих же модулей. Установить заданный ток в цепи нагрузки I_d ручкой потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство». В программе «Менеджер управления» на контроллере управления нажать кнопку «*Run/Stop*». По прибору α , расположенном на лицевой панели «Тиристорного преобразователя», наблюдать автоматическое изменение угла управления с шагом примерно равным 15 град. от 0 до 90 град. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для другого тока нагрузки I_d ;

е) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*» и добиться построения двух регулировочных характеристик на одном графике;

ж) снять внешние характеристики $U_d = F(I_d)$ при заданном значении α_1 и при $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$ в полуавтоматическом режиме. Для этого отключить выход модуля «Ввод-вывод» от управляющего входа тиристорного преобразователя, и установить перемычку между гнездами $X3 - X4$ в модуле «Тиристорный преобразователь». Потенциометром $RP1$ в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления α_1 (по прибору $P1$). Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закрывать проект». Из

предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей» → «Внешние характеристики». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю характеристику преобразователя, изменяя ток нагрузки I_d ручкой потенциометра $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство» в диапазоне от $0 \leq I_d \leq 0,9$ А. При снятии характеристик отметить точку перехода от непрерывного режима к прерывистому. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD data-file*. Выполнить аналогичные действия для угла управления α_2 . Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

з) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера $SA1$ в модуле «Тиристорный преобразователь». Включить автомат $QF2$ «Модуля питания», и снова снять внешнюю характеристику при заданном угле α_1 . Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

и) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*» и добиться построения трех внешних характеристик на одном графике.

2. *Экспериментальное исследование трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:*

а) собрать схему для исследования трехфазной нулевой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС. Для этого необходимо все клеммы с гнезда $X11$ модуля «Тиристорный преобразователь» подключить к гнезду $X7$ (нулевой вывод трансформатора TV), остальная схема остается неизменной (см. рис. 1);

б) повторить пункты 1 б – и для трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом. Снизить ток нагрузки I_d до нуля, выключить тумблер «Питания» модуля «Ввод-вывод», а также автомат $QF2$ «Модуля питания» и $QF1$ «Модуля питания стенда».

Таблица вариантов

№ варианта	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом	№ варианта	I_d , А	α_1 , град	x_a , Ом
1	0,9	30	4,3	13	0,7	30	4,3
2	0,9	45	4,3	14	0,7	45	4,3
3	0,9	60	4,3	15	0,7	60	4,3
4	0,9	30	0,3	16	0,7	30	0,3
5	0,9	45	0,3	17	0,7	45	0,3
6	0,9	60	0,3	18	0,7	60	0,3
7	0,8	30	4,3	19	0,8	30	4,3
8	0,8	45	4,3	20	0,8	45	0,3
9	0,8	60	4,3	21	0,8	60	0,3
10	0,8	30	0,3	22	0,8	30	0,3
11	0,8	45	0,3	23	0,9	45	0,3
12	0,8	60	0,3	24	0,9	60	4,3

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 3 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

Работа № 5А
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОМПЛЕКТНОГО РЕКУПЕРИРУЮЩЕГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМАХ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ

Цель работы

Изучение электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей однокомплектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Преобразователь частоты», «Ввод-вывод», двухканальный осциллограф, а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M.

Описание лабораторной установки, а также порядок ее включения и выключения подробно описаны в работе № 3 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. *Экспериментальное исследование рекуперирующего преобразователя, построенного по трехфазной мостовой схеме выпрямления, при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:*

а) собрать схему для исследования рекуперирующего преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 1

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение фазного напряжение $u_{1\phi}$	ДН1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение фазного тока $i_{1\phi}$	ДТ1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН2	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ2	Тиристорный преобразователь

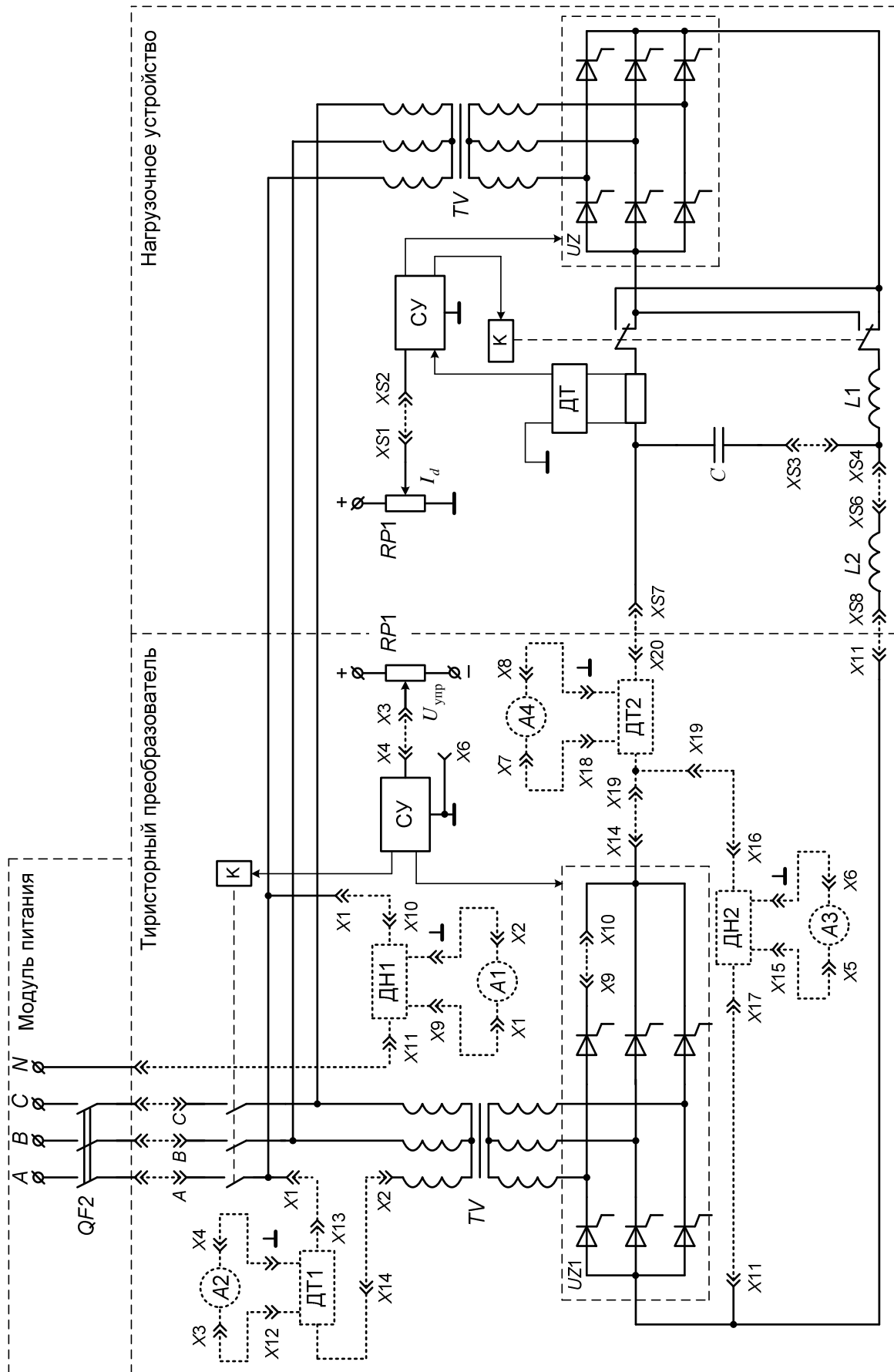


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования рекуперирющего преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

Подключить модуль «Ввод-вывод» к датчикам напряжения (ДН1 – ДН2) и датчикам тока (ДТ1 – ДТ2) в исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
А1	Действующее значение фазного напряжения $U_{1\phi}$	ДН1 / X9 – «⊥»	0 (выкл.)	×2
А2	Действующее значение фазного тока $I_{1\phi}$	ДТ1 / X12 – «⊥»	0 (выкл.)	×2
А3	Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	ДН2 / X15 – «⊥»	0 (выкл.)	×2
А4	Среднее значение выпрямленного тока I_d	ДТ2 / X18 – «⊥»	0 (выкл.)	×2

Тумблеры SA2 и SA3 датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер SA1 в положение «1», соответствующее индуктивному сопротивлению рассеяния трансформатора $x_a = 4,3$ Ом. Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 3, часть 1). Потенциометром RP1 в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток нагрузки I_d ;

б) изучить переход от выпрямительного к инверторному режиму. Для этого необходимо включить тумблер «Питание» в модуле «Ввод-вывод» и запустить программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование однокомплектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования» → «Регулировочные и энергетические характеристики». На экране монитора появиться окно лабораторной работы с цифровыми приборами, позволяющими измерять следующие физические величины:

- действующее значение фазного напряжения $U_{1\phi}$;
- действующее значение фазного тока $I_{1\phi}$;
- активная мощность фазы $P_{1\phi}$;
- полная мощность фазы $S_{1\phi}$;
- косинус преобразователя $\cos\varphi$;
- среднее значение выпрямленного напряжения U_d ;
- среднее значение выпрямленного тока I_d ;
- мощность нагрузки P_d .

Изменяя угол управления α потенциометром $RP1$ в модуле «Тиристорный преобразователь», наблюдать изменение направления напряжения на нагрузке U_d , потоков мощности в цепи постоянного тока P_d и в сети $P_{1\phi}$ при постоянном токе I_d , равном заданному значению. Обратит внимание на сохранение направления тока I_d в цепи нагрузки;

в) снять регулировочную и энергетические характеристики рекуперирующего преобразователя в автоматическом режиме при заданном токе нагрузки I_d . Для этого разорвать перемычку между гнездами $X3 - X4$ в модуле «Тиристорный преобразователь» (см. рис. 1), и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу СУ тиристорного преобразователя, соединив гнездо $X9$ модуля «Ввод-вывод» с гнездом $X4$ модуля «Тиристорный преобразователь», а также гнезда $X11$ с $X6$ этих же модулей. Запустить виртуальный контроллер программы «Менеджер управления», нажав на кнопку «Run/Stop». По прибору α , расположенном на лицевой панели «Тиристорного преобразователя», наблюдать автоматическое изменение угла управления с шагом примерно равным 15 град. от 0 до 135 град. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*;

г) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*» и добиться построения регулировочной характеристики $U_d = F(\alpha)$, а также энергетических характеристик рекуперирующего преобразователя $P_1 = F(\alpha)$, $S_1 = F(\alpha)$, $P_d = F(\alpha)$, $\chi = F(\alpha)$, $\cos\varphi = F(\alpha)$, $\eta = F(\alpha)$ для заданного тока нагрузки I_d .

Здесь $P_1 = 3 \cdot P_{1\phi}$, $S_1 = 3 \cdot S_{1\phi}$ – активная и полная мощности преобразователя, потребляемые из сети, соответственно; $\chi = |P_1|/S_1$ – коэффициент мощности преобразователя.

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя в режиме выпрямления, когда $U_d > 0$ и $P_1 > 0$,

$$\eta = P_d / P_1,$$

в режиме инвертирования, когда $U_d < 0$ и $P_1 < 0$,

$$\eta = P_1 / P_d,$$

в режиме перехода из одного режима в другой, когда $U_d < 0$, а $P_1 > 0$,

$$\eta = 0;$$

д) снять внешние $U_d = F(I_d)$ и энергетические $P_1 = F(I_d)$, $S_1 = F(I_d)$, $P_d = F(I_d)$, $\chi = F(I_d)$, $\cos\varphi = F(I_d)$, $\eta = F(I_d)$ характеристики в полуавтоматическом режиме при заданных углах управления α_1 (выпрямительный режим) и α_2 (инверторный режим).

Для этого отключить выход модуля «Ввод-вывод» от управляющего входа тиристорного преобразователя, и установить перемычку между гнездами $X3 - X4$ в модуле «Тиристорный преобразователь» (см. рис. 1). Потенциометром $RP1$ в модуле «Тиристорный преобразователь» установить угол управления α_1 (по прибору $P1$). Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закреть проект». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование однокомплектного рекуперирующего преобразователя в

режимах выпрямления и инвертирования» → «Внешние и энергетические характеристики». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю характеристику преобразователя, изменяя ток нагрузки I_d потенциометром $RP1$ в модуле «Нагрузочное устройство». В области малых токов экспериментальные точки записывать чаще (прерывистый режим работы). Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для угла управления α_2 . Закрыть программу «Менеджер управления». Выключить автомат $QF2$ «Модуля питания» и тумблер питания модуля «Ввод-вывод»;

е) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*». Добиться построения двух внешних характеристик $U_d = F(I_d)$ на одном графике при работе преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах работы.

Для углов управления α_1 и α_2 в программе «*MathCAD*» добиться построения следующих энергетических характеристик рекуперирующего преобразователя: $P_1 = F(I_d)$, $S_1 = F(I_d)$, $P_d = F(I_d)$, $\chi = F(I_d)$, $\cos\varphi = F(I_d)$, $\eta = F(I_d)$;

ж) снять осциллограммы анодного тока i_a , анодного напряжения u_a , выпрямленного напряжения u_d и тока i_d при помощи программы «*LGraph*» для заданного тока нагрузки I_d и углов управления α_1 и α_2 . Для этого переключить датчик напряжения ДН1 и тока ДТ1 с входа тиристорного преобразователя в цепь для измерения напряжения и тока через вентиль (см. рис. 3, работа № 3). Включить автомат $QF2$ «Модуля питания» и тумблер питания модуля «Ввод-вывод». Установить заданные значения угла управления α_1 и тока нагрузки I_d .

Запустить и настроить программу «*LGraph*». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Прodelать аналогичные действия для угла управления α_2 и заданного тока нагрузки I_d . Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени. Закрыть программу «*LGraph*»;

з) исследовать влияние тока нагрузки I_d и угла управления α на изменение угла δ , предоставляемого на выключение тиристора. Для этого подключить один из каналов осциллографа к выходу датчика напряжения ДН1 (напряжение на вентиле u_a), используя коннекторы из модуля «Ввод-вывод»;

и) снять и построить ограничительную характеристику $U_{d\max} = F(I_d)$ при $\delta_{\min} = \text{const}$ в полуавтоматическом режиме. В лабораторной установке из условий надежности ограничены углы α_{\max} , поэтому снять ограничительную характеристику для действительных значений δ_{\min} не представляется возможным. Снятие и построение характеристики провести для угла $\delta = \text{const}$, существенно большего, чем действительное значение δ_{\min} . Полученная характеристика будет ограничительной характеристикой с «запасом».

Запустить снова программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование однокомлектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования» → «Внешние и энергетические характеристики». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять ограничительную характеристику.

Точки характеристики получить следующим образом. При токе $I_d = 0,1$ А установить максимально возможный угол α и замерить с помощью осциллографа, вход которого подключен на напряжение u_a , угол δ . Записать данную точку в компьютер. Увеличить ток I_d до 0,5 А и, уменьшая угол α , добиться того же значения δ . Повторить опыт при заданном значении тока I_d . По трем записанным точкам в программе *MathCAD* добиться построения ограничительной характеристики преобразователя $U_{d\max} = F(I_d)$ на том же графике, где построены внешние характеристики.

Выключить тумблер «Питание» модуля «Ввод-вывод», а затем автомат *QF2* «Модуля питания» и *QF1* «Модуля питания стенда».

Таблица вариантов

№ варианта	I_d , А	α_1 , град	α_2 , град	№ варианта	I_d , А	α_1 , град	α_2 , град
1	0,9	30	105	13	0,7	30	105
2	0,9	45	120	14	0,7	45	120
3	0,9	60	135	15	0,7	60	135
4	0,9	30	135	16	0,7	30	135
5	0,9	45	105	17	0,7	45	105
6	0,9	60	120	18	0,7	60	120
7	0,8	30	105	19	0,8	45	135
8	0,8	45	120	20	0,8	30	120
9	0,8	60	135	21	0,8	60	105
10	0,8	30	135	22	0,9	45	135
11	0,8	45	105	23	0,9	30	120
12	0,8	60	120	24	0,9	60	105

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 5 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

Работа № 6А
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОМПЛЕКТНОГО РЕВЕРСИВНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы

Изучение характеристик двухкомплектного реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку и активно-индуктивную с противо-ЭДС.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузочное устройство», «Модуль питания», «Ввод-вывод», а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M.

Описание лабораторной установки, порядок ее включения и отключения, а также переключения комплектов вентилях подробно описаны в работе № 3 и 6 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. *Экспериментальное исследование реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС:*

а) собрать схему для исследования реверсивного преобразователя, выполненного по мостовой схеме выпрямления, при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС в соответствии с рис. 1. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

При исследовании реверсивного преобразователя, выполненного по трехфазной нулевой схеме, необходимо все клеммы с гнезда X11 модуля «Тиристорный преобразователь» подключить к гнезду X7 (нулевой вывод трансформатора TV) и убрать перемычку между гнездами X11 – X12, остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 1).

Внимание. Вторым комплектом вентилях UZ2 обязательно подключать, соединяя гнезда X10 с X13, т.к. между гнездами X10 и X14 установлен датчик тока, выполняющий функцию токовой защиты модуля «Тиристорный преобразователь». При неправильном подключении второго комплекта вентилях UZ2 (перемычка между гнездами X13 и X14) последний оказывается включенным без защиты.

В табл. 1 приведены датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

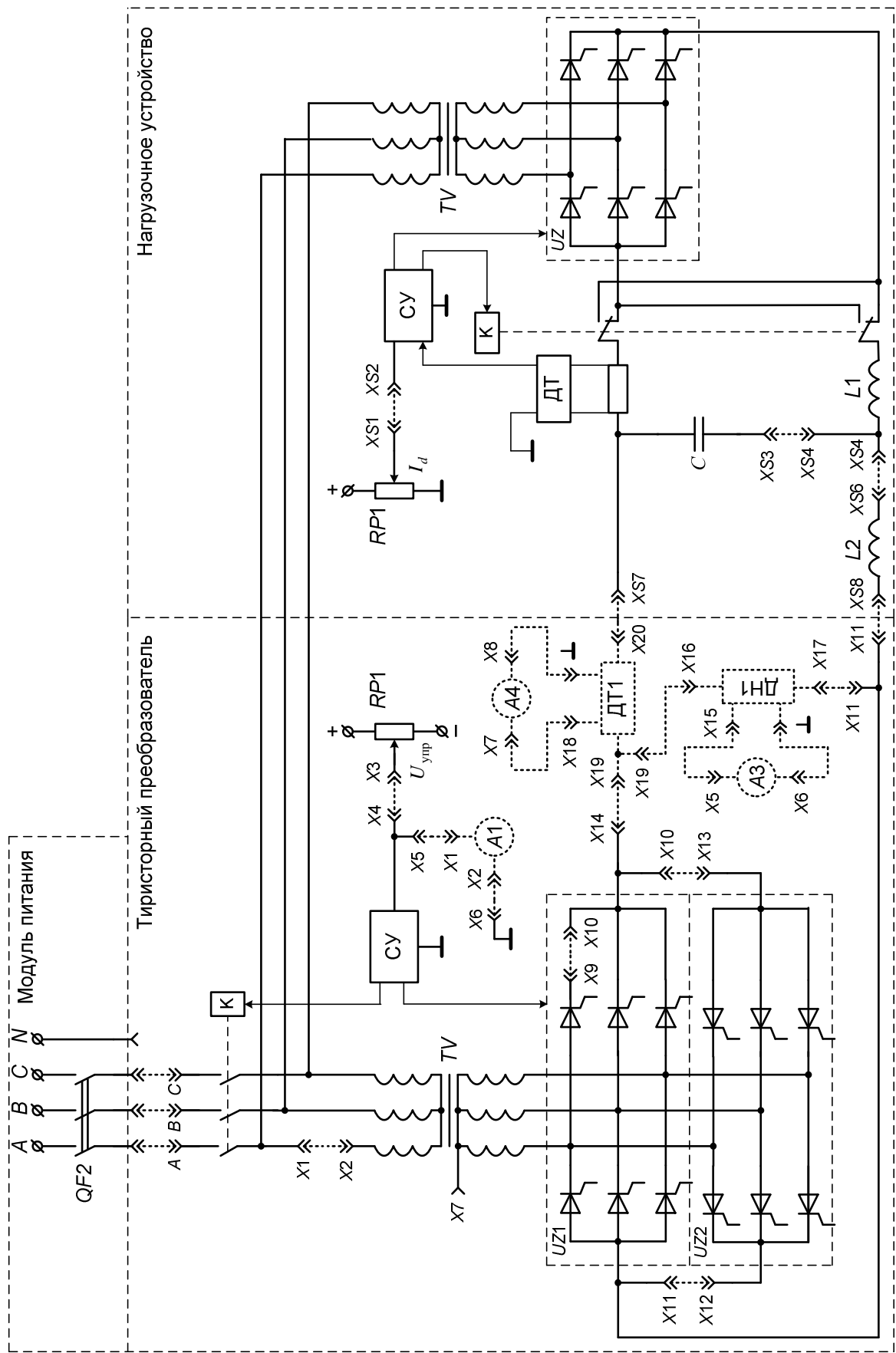


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку с ПЭДС

Таблица 1

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ1	Тиристорный преобразователь

Подключить модуль «Ввод-вывод» к входу СУ преобразователя, а также к датчику напряжения ДН1 и датчику тока ДТ1 в исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
А1	Напряжение управления $U_{упр}$	СУ / X5 – X6	0 (выкл.)	×2
А3	Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	ДН1 / X15 – «⊥»	0 (выкл.)	×2
А4	Среднее значение выпрямленного тока I_d	ДТ1 / X18 – «⊥»	0 (выкл.)	×2

Тумблеры SA2 и SA3 датчика напряжения ДН1 и тока ДТ1 в модуле «Тиристорный преобразователь» установить в положение «2» (фильтр выключен). В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер SA1 в положение «1», соответствующее индуктивному сопротивлению рассеяния трансформатора $x_a = 4,3$ Ом;

б) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока i_d реверсивного преобразователя при помощи программы «LGraph» для заданного тока нагрузки I_d и углов управления $\alpha_B = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентилей «Вперед» в выпрямительном и инверторном режимах), а также $\alpha_H = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентилей «Назад» в выпрямительном и инверторном режимах).

Для этого выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 6, часть 1). Включить тумблер «Питание» в модуле «Ввод-вывод». Потенциометром RP1 в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления при работе комплекта вентилей «Вперед» $\alpha_{B1} = \alpha_1$ (по прибору P1). Потенциометром RP1 в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданное значение тока нагрузки I_d . Запустить и настроить программу «LGraph». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Прodelать аналогичные действия для угла управления $\alpha_B = \alpha_2$.

Проделать необходимые операции, указанные в порядке переключения комплектов вентиляей, снять осциллограммы тока i_d и напряжения u_d для комплекта вентиляей «Назад» и тех же углах управления. Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков и модуля «Ввод-вывод». Закройте программу «*LGraph*»;

в) снять регулировочную характеристику системы управления $\alpha = F(U_{упр})$, а также регулировочные характеристики реверсивного преобразователя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя с системой управления $U_d = F(U_{упр})$ в автоматическом режиме. Характеристики снять вблизи холостого хода при малом токе $I_d \approx 0,05$ А и в непрерывном режиме при заданном токе нагрузки I_d .

Для этого подать управляющие импульсы сначала на комплект вентиляей «Вперед», выполнив необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 6, часть 1). Затем разорвать перемычку между гнездами X3 – X4 в модуле «Тиристорный преобразователь» (см. рис. 1), и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу СУ тиристорного преобразователя, соединив гнездо X9 модуля «Ввод-вывод» с гнездом X4 модуля «Тиристорный преобразователь», а также гнезда X11 с X6 этих же модулей. Запустить программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование двухкомплектного реверсивного преобразователя» → «Регулировочные характеристики преобразователя при работе на ПЭДС». На экране монитора появиться окно лабораторной работы с тремя цифровыми приборами, измеряющими напряжение управления, напряжение и ток нагрузки, виртуальным контроллером управления и универсальным пультом управления, позволяющим установить управляющую программу контроллера на время переключения комплектов вентиляей.

Потенциометром *RP1* в модуле «Нагрузочное устройство» установить заданное значение тока нагрузки I_d . На универсальном пульте управления установить флажок возле кнопки *SX1*, и запустить виртуальный контроллер программы «Менеджер управления», нажав на кнопку «*Run/Stop*». По прибору α , расположенном на лицевой панели «Тиристорного преобразователя», наблюдать автоматическое изменение угла управления с шагом примерно равным 15 град. от 0 до 135 град. при работе комплекта вентиляей «Вперед». После этого виртуальный контроллер остановиться, автоматически подав на вход СУ тиристорного преобразователя отрицательное напряжение управления, при котором разрешается подача импульсов управления на комплект вентиляей «Назад» при условии равенства нулю тока нагрузки.

Произвести смену комплектов вентиляей согласно инструкции, приведенной в лабораторной работе № 6 части 1 учебного пособия в разделе «Порядок переключения комплектов вентиляей», не отключая управляющий вход СУ тиристорного преобразователя от модуля «Ввод-вывод». В модуле «Нагрузочное устройство» установить заданный ток ручкой потенциометра *RP1* для комплекта вентиляей «Назад». Обратит внимание на изменение направления тока в цепи нагрузки. На

универсальном пульте управления снять флажок возле кнопки SX1, запустив тем самым виртуальный контроллер управления. По прибору α , расположенном на лицевой панели «Тиристорного преобразователя», наблюдать автоматическое изменение угла управления с шагом примерно равным 15 град. от 0 до 135 град при работе комплекта вентиля «Назад» и отрицательное значение напряжения управления $U_{упр}$. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*.

Повторить аналогичные действия для тока нагрузки $I_d \approx 0,05$ А, что соответствует работе реверсивного преобразователя в режиме прерывистого тока;

г) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*». Добиться построения следующих регулировочных характеристик реверсивного преобразователя для двух значений тока нагрузки на одном рисунке:

- регулировочная характеристика системы управления (РХСУ) $\alpha = F(U_{упр})$;
- регулировочная характеристика преобразователя (РХП) $U_d = F(\alpha)$;
- регулировочная характеристика преобразователя с системой управления (РХПСУ) $U_d = F(U_{упр})$.

д) снять внешние характеристики реверсивного преобразователя для двух комплектов вентиля при углах управления $\alpha_B = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентиля «Вперед» в выпрямительном и инверторном режимах), а также $\alpha_H = \alpha_1$ и α_2 (работа комплекта вентиля «Назад» в выпрямительном и инверторном режимах) в полуавтоматическом режиме.

Для этого отключить выход модуля «Ввод-вывод» от управляющего входа тиристорного преобразователя, и установить перемычку между гнездами X3 – X4 в модуле «Тиристорный преобразователь» (см. рис. 1). Потенциометром *RP1* в модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданное значение угла управления $\alpha_B = \alpha_1$ (по прибору *P1*). Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закрывать проект». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование двухкомплектного реверсивного преобразователя» → «Внешние характеристики преобразователя при работе на ПЭДС». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю характеристику преобразователя, изменяя ток нагрузки I_d потенциометром *RP1* в модуле «Нагрузочное устройство» от минимально возможного до заданного значения. В области малых токов экспериментальные точки записывать чаще (прерывистый режим работы). Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для угла управления $\alpha_B = \alpha_2$.

Произвести смену комплектов вентиля согласно инструкции, приведенной в лабораторной работе № 6 части 1 учебного пособия в разделе «Порядок переключения комплектов вентиля». Выполнить аналогичные действия для углов управления $\alpha_H = \alpha_1$ и α_2 . Выключить автомат *QF2* «Модуля питания»;

е) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*». Добиться построения четырех внешних характеристик $U_d = F(I_d)$ реверсивного преобразователя для комплектов вентилях «Вперед» и «Назад» на одном графике.

2. *Экспериментальное исследование реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку:*

а) собрать схему для исследования реверсивного преобразователя при работе на активно-индуктивную нагрузку. Для этого в схеме, представленной на рис. 1, необходимо в модуле «Нагрузочное устройство» разъединить гнезда $XS3 - XS4$, $XS4 - XS6$ и установить перемычку между гнездами $XS5 - XS6$, подключив к выходу реверсивного тиристорного преобразователя регулируемую активно-индуктивную нагрузку, активное сопротивление которой изменяется при помощи потенциометра $RP2$. Остальная силовая схема остается неизменной (см. рис. 1). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Включить автомат $QF2$ «Модуля питания»;

б) снять регулировочные характеристики реверсивного преобразователя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя с системой управления $U_d = F(U_{упр})$ в автоматическом режиме. Регулировочные характеристики снимать при двух значениях сопротивления нагрузки R_d , обеспечивающих режим, близкий к холостому ходу (максимально возможное сопротивление), и режим непрерывного тока (при минимально возможном R_d).

Для этого разорвать перемычку между гнездами $X3 - X4$ в модуле «Тиристорный преобразователь» (см. рис. 1), и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу СУ тиристорного преобразователя, соединив гнездо $X9$ модуля «Ввод-вывод» с гнездом $X4$ модуля «Тиристорный преобразователь», а также гнезда $X11$ с $X6$ этих же модулей. Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закрывать проект». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование двухкомплектного реверсивного преобразователя» → «Регулировочные характеристики преобразователя при работе на RL -нагрузку». Потенциометром $RP2$ в модуле «Нагрузочное устройство» установить минимально возможное сопротивление нагрузки (крайне правое положение $RP2$).

Запустить виртуальный контроллер программы «Менеджер управления», нажав на кнопку «*Run/Stop*». По прибору α , расположенном на лицевой панели «Тиристорного преобразователя», наблюдать автоматическое изменение угла управления с шагом примерно равным 15 град от 0 до 135 град. (комплект «Вперед») и обратно (комплект «Назад»). Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*.

Выполнить аналогичные действия для максимального сопротивления нагрузки R_d , установив потенциометр $RP2$ в модуле «Нагрузочное устройство» в крайнее левое положение;

в) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*». Добиться построения следующих регулировочных характеристик: реверсивного преобразо-

вателя $U_d = F(\alpha)$ и реверсивного преобразователя с системой управления $U_d = F(U_{упр})$ для двух значений сопротивления нагрузки;

г) снять осциллограммы напряжения u_d и тока i_d при углах управления $\alpha_B = \alpha_1$ и $\alpha_H = \alpha_1$ (при минимально возможном сопротивлении нагрузки R_d) с использованием программы «*LGraph*». Не забудьте записать масштабы по напряжению, току и времени с учетом коэффициентов датчиков и модуля «Ввод-вывод». Выключить тумблер «Питание» модуля «Ввод-вывод», а также автомат *QF2* «Модуля питания» и *QF1* «Модуля питания стенда».

Таблица вариантов

№ варианта	m	I_d, A	$\alpha_1,$ град	$\alpha_2,$ град	№ варианта	m	I_d, A	$\alpha_1,$ град	$\alpha_2,$ град
1	3	0,9	45	135	13	3	0,7	45	135
2	6	0,9	60	120	14	6	0,7	60	120
3	3	0,9	75	105	15	3	0,7	75	105
4	6	0,9	30	135	16	6	0,7	30	135
5	3	0,9	45	120	17	3	0,7	45	120
6	6	0,9	60	105	18	6	0,7	60	105
7	3	0,8	45	135	19	3	0,8	45	135
8	6	0,8	60	120	20	6	0,8	60	120
9	3	0,8	75	105	21	3	0,8	75	105
10	6	0,8	30	135	22	6	0,9	30	135
11	3	0,8	45	120	23	3	0,9	45	120
12	6	0,8	60	105	24	6	0,9	60	105

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 6 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

Работа № 8А
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА
НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей трехфазного автономного инвертора напряжения (АИН).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Преобразователь частоты», «Нагрузка», «Модуль питания», «Тиристорный преобразователь», «Ввод-вывод», а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M.

Описание лабораторной установки, а также порядок ее включения и отключения подробно описаны в работе № 8 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. *Экспериментальное исследование трехфазного АИН:*

а) собрать схему для исследования трехфазного АИН при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 1. Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 2

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение напряжения на входе АИН u_d	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение тока, потребляемого на входе АИН i_d	ДТ1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение фазного напряжения на выходе АИН $u_{нф}$	ДН2	Преобразователь частоты
Мгновенное значение фазного тока на выходе АИН $i_{нф}$	ДТ2	Преобразователь частоты

Подключить модуль «Ввод-вывод» к датчикам напряжения (ДН1 – ДН2) и датчикам тока (ДТ1 – ДТ2) в исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

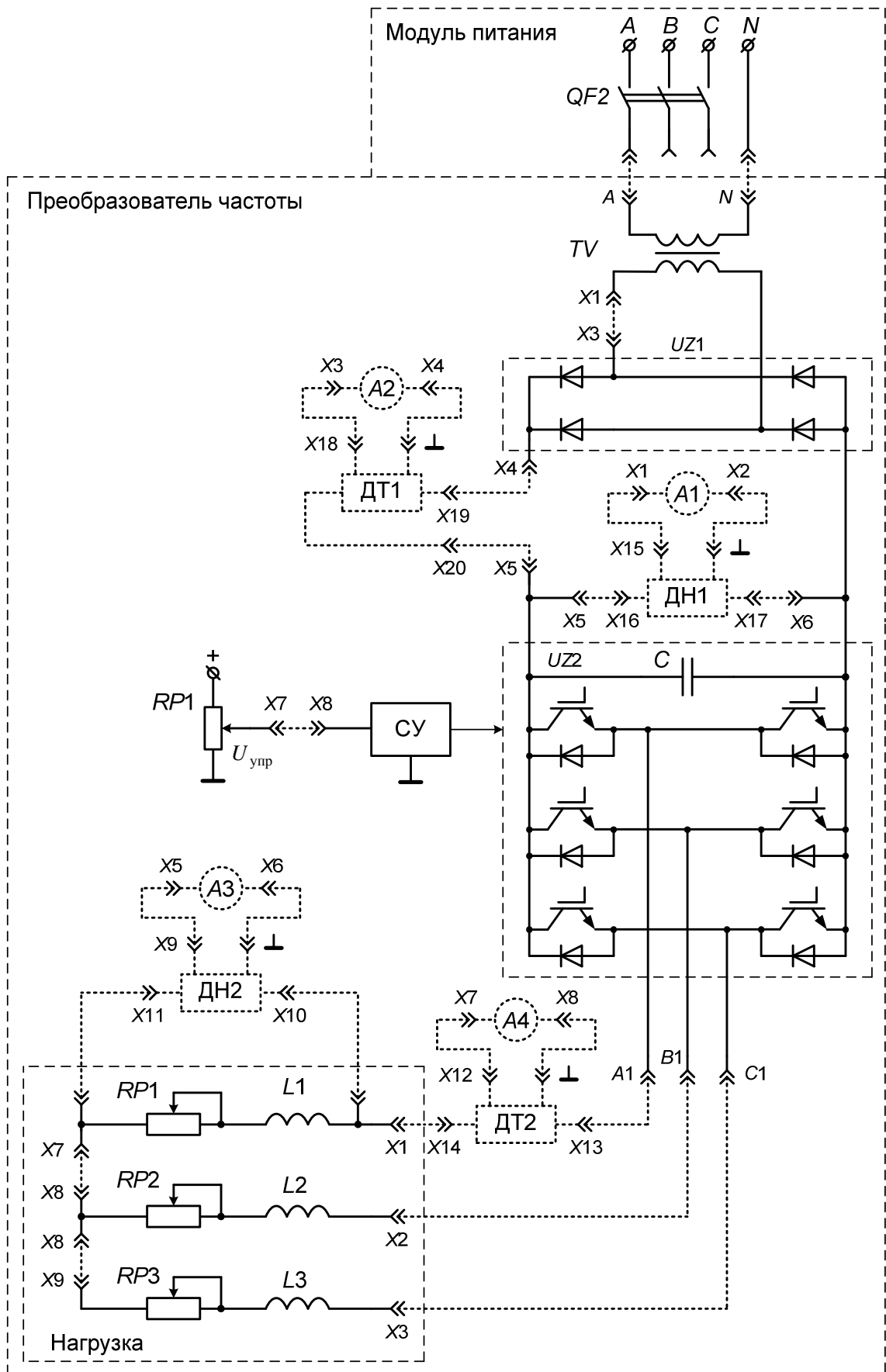


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования автономного инвертора напряжения при работе на активно-индуктивную нагрузку

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
A1	Постоянное напряжение на входе АИН U_d	ДН1 / X15 – «⊥»	1 (вкл.)	×2
A2	Среднее значение выпрямленного тока на входе АИН I_d	ДТ1 / X18 – «⊥»	1 (вкл.)	×2
A3	Действующее значение первой гармоники фазного напряжения на выходе АИН $U_{нф(1)}$	ДН2 / X9 – «⊥»	1 (вкл.)	×2
A4	Действующее значение первой гармоники фазного тока на выходе АИН $I_{нф(1)}$	ДТ2 / X12 – «⊥»	1 (вкл.)	×2

Установка переключателей «Фильтр» в состояние «1» (вкл.) в модуле «Ввод-вывод» позволяет выделить первую гармонику из ШИМ-сигналов с выхода АИН (канал А3 – А4), а по каналам ввода А1 и А2 снизить уровень шумов между модулем «Ввод-вывод» и платой L-780М. Тумблеры SA2 и SA3 датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен);

б) снять осциллограммы напряжения u_d и тока i_d на входе АИН, а также первой гармоники фазного напряжения $u_{нф(1)}$ и тока $i_{нф(1)}$ на выходе АИН при помощи программы «LGraph» для заданного сопротивления нагрузки R_H и частоты управления f . Для этого выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 8, часть 1). Потенциометром RP1 в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f . Переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» установить заданное значение сопротивление нагрузки R_H . Запустить и настроить программу «LGraph». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Обратит внимание на фазовый сдвиг между первыми гармониками напряжения $u_{нф(1)}$ и тока $i_{нф(1)}$ на выходе АИН (угол φ), а также на изменение фазового сдвига при изменении частоты управления f . Закрыть программу «LGraph»;

в) снять регулировочные и энергетические характеристики автономного инвертора напряжения в автоматическом режиме при регулировании по закону $U/f = const$ и заданном значении R_H .

Для этого разорвать перемычку между гнездами X7 – X8 в модуле «Преобразователь частоты» (см. рис. 1), и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу системы управления (СУ) автономного инвертора напряжения, соединив гнездо X9 модуля «Ввод-вывод» с гнездом X8 модуля «Преобразователь частоты», а также объединив гнезда X11 с «⊥» тех же модулей. Установить переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» заданное значение сопротивление нагрузки R_H . Запус-

титель программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование трехфазного автономного инвертора напряжения» → «Регулировочные и энергетические характеристики». На экране монитора появиться окно лабораторной работы с цифровыми приборами, позволяющими измерить следующие физические величины:

- постоянное напряжение на входе АИН U_d ;
- среднее значение выпрямленного тока на входе АИН I_d ;
- мощность, потребляемая АИН на входе P_d ;
- действующее значение первой гармоники фазного напряжения на выходе АИН $U_{нф(1)}$;
- действующее значение первой гармоники фазного тока на выходе АИН $I_{нф(1)}$;
- активная мощность фазы на выходе АИН $P_{нф}$;
- полная мощность фазы на выходе АИН $S_{нф}$;
- косинус нагрузки $\cos\varphi_n$.

Запустить виртуальный контроллер программы «Менеджер управления», нажав на кнопку «Run/Stop». По прибору частота, расположенном на лицевой панели модуля «Преобразователь частоты», наблюдать автоматическое изменение частоты управления f с шагом 5 Гц от 10 до 50 Гц. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для другого значения сопротивления нагрузки R_n по указанию преподавателя;

г) обработать экспериментальные данные в программе «MathCAD» и добиться построения следующих регулировочных характеристик для двух значений сопротивлений нагрузки R_n :

- регулировочная характеристика системы управления (РХСУ) $\mu = F(f)$;
- регулировочная характеристика преобразователя (РХП) $U_{нф(1)} = F(f)$.

Здесь $\mu = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{нф(1)}}{U_d}$ – коэффициент модуляции.

Для заданного значения нагрузки R_n в программе «MathCAD» добиться построения следующих энергетических характеристик автономного инвертора напряжения: $P_d = F(f)$, $P_n = F(f)$, $S_n = F(f)$, $\cos\varphi_n = F(f)$, $\eta_n = F(f)$. Здесь $P_n = 3 \cdot P_{нф}$ – активная мощность нагрузки; $S_n = 3 \cdot S_{нф}$ – полная мощность нагрузки; $\eta_n = P_n / P_d$ – коэффициент полезного действия инвертора;

д) снять внешние и энергетические характеристики АИН при двух значениях частоты управления f (заданной и по указанию преподавателя) в полуавтоматическом режиме. Для этого отключить выход модуля «Ввод-вывод» от управляющего входа тиристорного преобразователя, и установить перемычку между гнездами X7 – X8 в модуле «Преобразователь частоты» (см. рис. 1). Потенциометром $RP1$ в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f (по прибору частота). Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закрывать проект». Из предлагаемого списка лабо-

раторных работ выбрать работу «Исследование трехфазного автономного инвертора напряжения» → «Внешние и энергетические характеристики». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю характеристику преобразователя, изменяя ток нагрузки I_H переключателем SA1 в модуле «Нагрузка». Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для другой частоты управления, заданной преподавателем. Выключить тумблер «Питание» модуля «Ввод-вывод», а также автоматы QF2 «Модуля питания» и QF1 «Модуля питания стенда»;

е) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*» и добиться построения двух внешних характеристик АИН $U_{нф(1)} = F(I_{нф(1)})$ при разной частоте управления на одном графике.

Для заданной частоты управления f в программе «*MathCAD*» добиться построения следующих энергетических характеристик АИН: $P_d = F(I_{нф(1)})$, $P_H = F(I_{нф(1)})$, $S_H = F(I_{нф(1)})$, $\cos\varphi_H = F(I_{нф(1)})$, $\eta_H = F(I_{нф(1)})$.

Таблица вариантов

№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	U_d , В	№ варианта	R_H , Ом	f , Гц	U_d , В
1	400	30	280	13	200	25	270
2	200	40	270	14	200	30	270
3	400	50	280	15	600	40	285
4	400	40	280	16	200	45	270
5	200	50	270	17	200	30	275
6	400	50	280	18	600	50	285
7	600	40	285	19	200	50	270
8	200	30	270	20	400	25	280
9	400	45	280	21	600	30	285
10	600	35	285	22	400	40	275
11	200	40	275	23	200	50	270
12	400	35	280	24	600	45	285

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 8 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

Работа № 9А
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов, характеристик и энергетических показателей двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Преобразователь частоты», «Нагрузка», «Модуль питания», «Тиристорный преобразователь», «Ввод-вывод», а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780M.

Описание лабораторной установки, а также ее порядок включения и выключения подробно описаны в работе № 8 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. Экспериментальное исследование двухзвенного преобразователя частоты:

а) собрать схему для исследования ДПЧ при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 1 приведены датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 1

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение напряжения на входе ДПЧ u	ДН1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение тока, потребляемого на входе ДПЧ i	ДТ1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение фазного напряжения на выходе ДПЧ $u_{нф}$	ДН2	Преобразователь частоты
Мгновенное значение фазного тока на выходе ДПЧ $i_{нф}$	ДТ2	Преобразователь частоты

Подключить модуль «Ввод-вывод» к датчикам напряжения (ДН1 – ДН2) и датчикам тока (ДТ1 – ДТ2) в исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

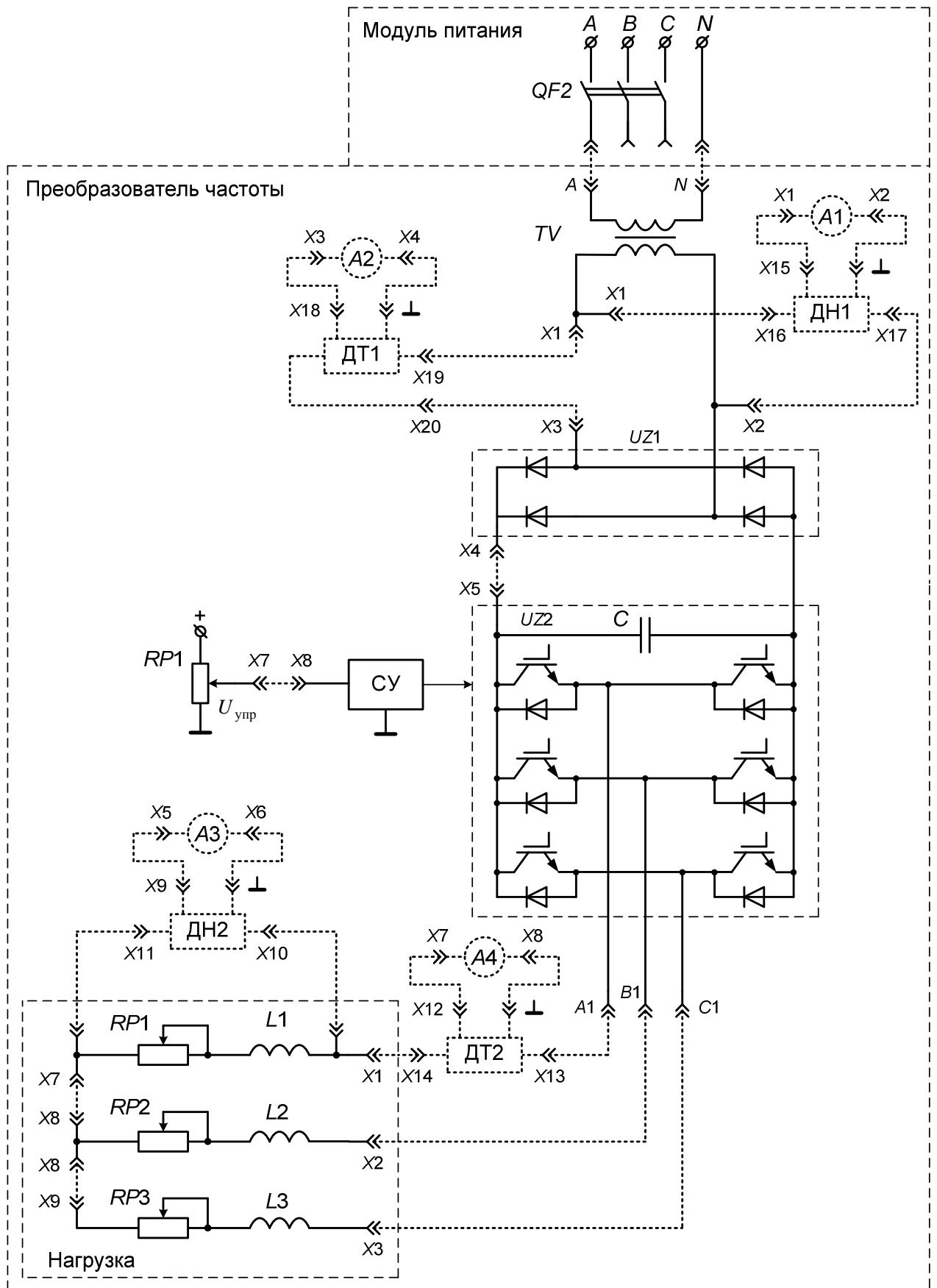


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования двухзвенного преобразователя частоты при работе на активно-индуктивную нагрузку

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
A1	Действующее значение напряжения на входе ДПЧ U	ДН1 / X15 – « \perp »	1 (вкл.)	$\times 2$
A2	Действующее значение тока на входе ДПЧ I	ДТ1 / X18 – « \perp »	1 (вкл.)	$\times 2$
A3	Действующее значение первой гармоники фазного напряжения на выходе ДПЧ $U_{\text{нф}(1)}$	ДН2 / X9 – « \perp »	1 (вкл.)	$\times 2$
A4	Действующее значение первой гармоники фазного тока на выходе ДПЧ $I_{\text{нф}(1)}$	ДТ2 / X12 – « \perp »	1 (вкл.)	$\times 2$

Установка переключателей «Фильтр» в состояние «1» (вкл.) в модуле «Ввод-вывод» позволяет выделить первую гармонику из ШИМ-сигналов с выхода ДПЧ (канал А3 – А4), а по каналам ввода А1 и А2 снизить уровень шумов между модулем «Ввод-вывод» и платой L-780М.

Тумблеры SA2 и SA3 датчиков напряжения (ДН1 – ДН2) и тока (ДТ1 – ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен);

б) снять осциллограммы напряжения u и тока i на входе ДПЧ, а также первой гармоники фазного напряжения $u_{\text{нф}(1)}$ и тока $i_{\text{нф}(1)}$ на выходе ДПЧ при помощи программы «LGraph» для заданного сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ и частоты управления f . Для этого выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки (см. работу № 8, часть 1). Потенциометром RP1 в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f . Переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» установить заданное значение сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$. Запустить и настроить программу «LGraph». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Обратит внимание на фазовый сдвиг между первыми гармониками напряжения $u_{\text{нф}(1)}$ и тока $i_{\text{нф}(1)}$ на выходе ДПЧ (угол φ), а также на изменение фазового сдвига при изменении частоты управления f . Закройте программу «LGraph»;

в) снять регулировочные и энергетические характеристики ДПЧ в автоматическом режиме при регулировании по закону $U/f = \text{const}$ и заданном значении $R_{\text{н}}$.

Для этого разорвать перемычку между гнездами X7 – X8 в модуле «Преобразователь частоты» (см. рис. 1), и подключить выход модуля «Ввод-вывод» к входу системы управления (СУ) автономного инвертора напряжения, соединив гнездо X9 модуля «Ввод-вывод» с гнездом X8 модуля «Преобразователь частоты», а также объединив гнезда X11 с « \perp » тех же модулей. Установить переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» заданное значение сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$. Запус-

титель программы «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование двухзвенного преобразователя частоты» → «Регулировочные и энергетические характеристики». На экране монитора появится окно лабораторной работы с цифровыми приборами, позволяющими измерить следующие физические величины:

- действующее значение напряжения на входе ДПЧ U ;
- действующее значение тока на входе ДПЧ I ;
- активная мощность на входе ДПЧ P ;
- полная мощность на входе ДПЧ S ;
- косинус преобразователя $\cos\varphi$;
- действующее значение первой гармоники фазного напряжения на выходе ДПЧ $U_{\text{нф}(1)}$;
- действующее значение первой гармоники фазного тока на выходе ДПЧ $I_{\text{нф}(1)}$;
- активная мощность фазы на выходе ДПЧ $P_{\text{нф}}$;
- полная мощность фазы на выходе ДПЧ $S_{\text{нф}}$;
- косинус нагрузки $\cos\varphi_{\text{н}}$.

Запустить виртуальный контроллер программы «Менеджер управления», нажав на кнопку «Run/Stop». По прибору частота, расположенном на лицевой панели модуля «Преобразователь частоты», наблюдать автоматическое изменение частоты управления f с шагом 5 Гц от 10 до 50 Гц. Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для другого значения сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ по указанию преподавателя;

г) обработать экспериментальные данные в программе «MathCAD» и добиться построения регулировочных характеристик преобразователя $U_{\text{нф}(1)} = F(f)$ для двух значений сопротивлений нагрузки $R_{\text{н}}$, а также энергетических характеристик двухзвенного преобразователя частоты для заданного $R_{\text{н}}$: $P = F(f)$, $S = F(f)$, $\cos\varphi = F(f)$, $\chi = F(f)$, $P_{\text{н}} = F(f)$, $S_{\text{н}} = F(f)$, $\cos\varphi_{\text{н}} = F(f)$, $\eta_{\text{пч}} = F(f)$. Здесь $P_{\text{н}} = 3 \cdot P_{\text{нф}}$ – активная мощность нагрузки; $S_{\text{н}} = 3 \cdot S_{\text{нф}}$ – полная мощность нагрузки; $\chi = P/S$ – коэффициент мощности преобразователя частоты; $\eta_{\text{пч}} = P_{\text{н}}/P$ – коэффициент полезного действия ДПЧ;

д) снять внешние и энергетические характеристики ДПЧ при двух значениях частоты управления f (заданной и по указанию преподавателя) в полуавтоматическом режиме. Для этого отключить выход модуля «Ввод-вывод» от управляющего входа тиристорного преобразователя, и установить перемычку между гнездами X7 – X8 в модуле «Преобразователь частоты» (см. рис. 1). Потенциометром $RP1$ в модуле «Преобразователь частоты» установить заданное значение частоты управления f (по прибору частота). Из контекстного меню программы «Менеджер управления» выбрать команду «Закрывать проект». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование двухзвенного преобразователя частоты» → «Внешние и энергетические характеристики». При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю характери-

стику преобразователя, изменяя ток нагрузки I_n переключателем SA1 в модуле «Нагрузка». Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*. Выполнить аналогичные действия для другой частоты управления, заданной преподавателем. Выключить тумблер «Питание» модуля «Ввод-вывод», а затем автоматы QF2 «Модуля питания» и QF1 «Модуля питания стенда»;

е) обработать экспериментальные данные в программе «MathCAD» и добиться построения двух внешних характеристик ДПЧ $U_{нф(1)} = F(I_{нф(1)})$ при разной частоте управления на одном графике, а также энергетических характеристик для заданной частоты управления f : $P = F(I_{нф(1)})$, $S = F(I_{нф(1)})$, $\cos\varphi = F(I_{нф(1)})$, $\chi = F(I_{нф(1)})$, $P_n = F(I_{нф(1)})$, $S_n = F(I_{нф(1)})$, $\cos\varphi_n = F(I_{нф(1)})$, $\eta_{пч} = F(I_{нф(1)})$.

Таблица вариантов

№ варианта	R_n , Ом	f , Гц	$k_{тр}$	№ варианта	R_n , Ом	f , Гц	$k_{тр}$
1	400	30	1	13	200	25	0,95
2	200	40	0,95	14	200	30	1,05
3	400	50	0,95	15	600	40	1
4	400	40	1,05	16	200	45	1,05
5	200	50	0,95	17	200	30	0,95
6	400	50	1,05	18	600	50	1,05
7	600	40	1	19	200	50	1
8	200	30	0,95	20	400	25	1,05
9	400	45	1	21	600	30	1
10	600	35	1,05	22	400	40	1,05
11	200	40	1	23	200	50	1
12	400	35	1,05	24	600	45	1,05

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 9 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

Работа № 11А
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С КОРРЕКТОРОМ
КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Цель работы

Изучение характеристик и режимов работы неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр без корректора коэффициента мощности и с корректором коэффициента мощности (ККМ).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Корректор коэффициента мощности», «Тиристорный преобразователь», «Преобразователь частоты», «Ввод-вывод», двухканальный осциллограф, а также персональный компьютер со встроенной в него платой ввода-вывода L-780М.

Описание лабораторной установки подробно описано в работе № 11 части 1 учебного пособия.

Методические указания

1. Экспериментальные исследования неуправляемого выпрямителя, работающего на емкостной фильтр:

а) собрать схему для исследования неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром в соответствии с рис. 1. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

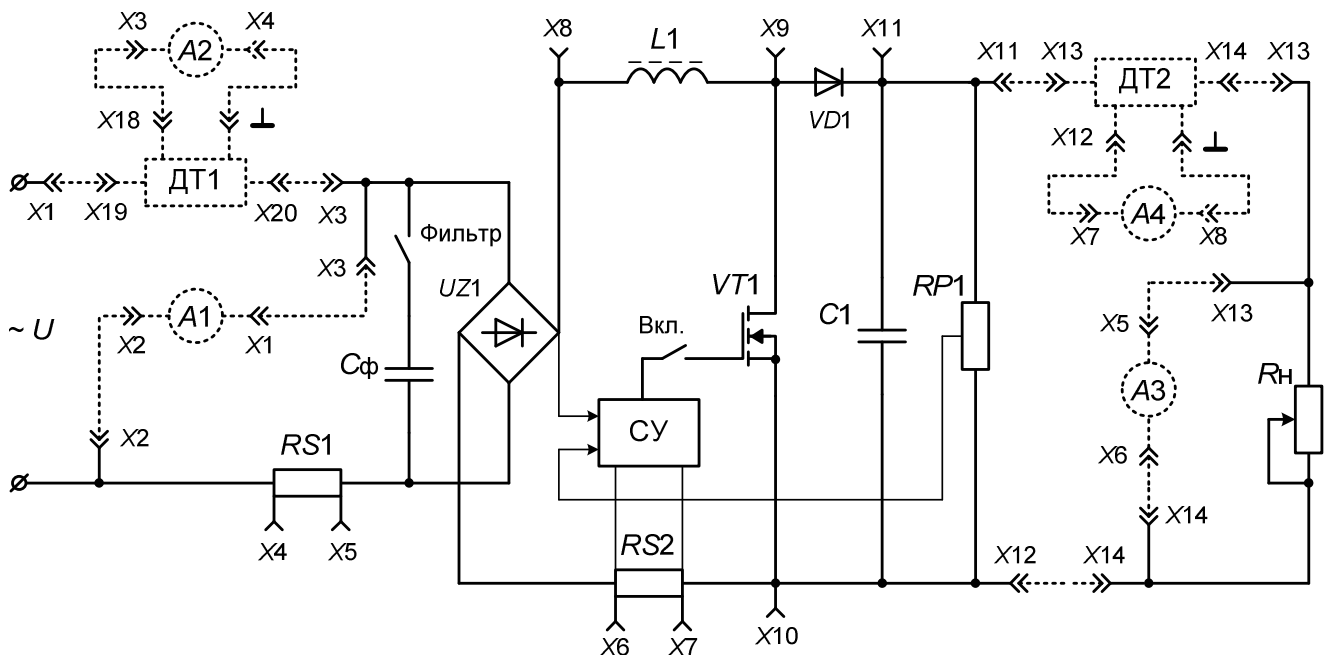


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром и с ККМ

В табл. 1 приведены датчики тока, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 1

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение тока на входе i_1	ДТ1	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение тока на грузки $i_{дн}$	ДТ2	Преобразователь частоты

Подключить модуль «Ввод-вывод» к исследуемой схеме (см. рис. 1) и согласно табл. 2 установить требуемые положения переключателей каналов ввода (А1 – А4).

Таблица 2

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
А1	Действующее значение напряжения на входе U_1	ККМ / X2 – X3	0 (выкл.)	×6
А2	Действующее значение тока на входе I_1	ДТ1 / X18 – «⊥»	0 (выкл.)	×2
А3	Напряжение на нагрузке $U_{дн}$	ККМ / X13 – X14	0 (выкл.)	×6
А4	Ток нагрузки $I_{дн}$	ДТ2 / X12 – «⊥»	0 (выкл.)	×2

Тумблеры «Фильтр» и «Вкл» переключить в нижнее положение (фильтр S_Φ и система управления ККМ выключены). Ручку реостата R_H перевести в крайнее правое положение, соответствующее максимально возможному сопротивлению нагрузки. Включить автомат $QF1$ «Модуля питания стенда», а затем тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Ввод-вывод» соответственно;

б) снять внешнюю $U_{дн} = F(I_{дн})$ и энергетические $P_1 = F(I_{дн})$, $S_1 = F(I_{дн})$, $P_H = F(I_{дн})$, $\chi = F(I_{дн})$, $\cos\phi = F(I_{дн})$, $\eta = F(I_{дн})$ характеристики неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром в полуавтоматическом режиме. Для этого запустить программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование выпрямителя с корректором коэффициента мощности». На экране монитора появиться окно лабораторной работы

с цифровыми приборами, позволяющими измерять следующие физические величины:

- действующее значение напряжения на входе U_1 ;
- действующее значение тока на входе I_1 ;
- активная мощность на входе P_1 ;
- полная мощность на входе S_1 ;
- косинус преобразователя $\cos\phi$;
- напряжение на нагрузке $U_{дн}$;
- ток нагрузки $I_{дн}$;
- мощность нагрузки $P_{дн}$.

При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю и энергетические характеристики выпрямителя с емкостным фильтром, изменяя ток нагрузки $I_{дн}$ ручкой реостата R_H . Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*;

в) снять осциллограммы напряжения u_1 , тока i_1 на входе выпрямителя, а также выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d при помощи программы «*LGraph*» для заданного тока нагрузки $I_{дн}$. Для этого ручкой реостата R_H установить заданный ток нагрузки $I_{дн}$. Закрыть программу «Менеджер управления». Подключить каналы А3 – А4 модуля «Ввод-вывод» к выпрямленному напряжению u_d и выпрямленному току i_d согласно табл. 3. Каналы А1 – А2 не переключать.

Таблица 3

Номер канала ввода	Измеряемая величина	Место подключения / гнезда	Положение переключателей каналов ввода	
			Фильтр	Масштаб
А3	Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ККМ / X6 – X8	0 (выкл.)	×6
А4	Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ККМ / X6 – X7	0 (выкл.)	×2

Запустить и настроить программу «*LGraph*». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени. Закрыть программу «*LGraph*»;

г) исследовать влияние тока нагрузки $I_{дн}$ на коэффициент пульсаций q напряжения на нагрузке $u_{дн}$. Для этого снова запустить программу «Менеджер управления» и из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование выпрямителя с корректором коэффициента мощности». Вход *CH2* осциллографа подключить к гнезду X11, а корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом X10. Переключить канал *CH2* осциллографа на открытый вход «АС» (переменная составляющая входного сигнала). Замерить двойную амплитуду пульсаций напряжения на нагрузке $\Delta U_{дн}$ при заданном токе нагрузки $I_{дн}$. Определить коэффи-

коэффициент пульсаций $q = \Delta U_{dH} / (2 \cdot U_{dH})$, сравнив его с расчетным значением. Определить коэффициент q при других значениях тока нагрузки I_{dH} , вращая ручку реостата R_H . Данные заносить в таблицу. Построить зависимость $q = F(I_{dH})$.

Выключить тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Ввод-вывод» соответственно.

2. *Экспериментальное исследование неуправляемого выпрямителя с корректором коэффициента мощности:*

а) собрать схему выпрямителя с корректором коэффициента мощности в соответствии с рис. 1. Тумблеры «Фильтр» и «Вкл» переключить в верхнее положение (фильтр C_Φ и система управления ККМ включены). Ручку реостата R_H перевести в крайнее правое положение, соответствующее максимально возможному сопротивлению нагрузки. Включить тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффициента мощности» и «Ввод-вывод» соответственно;

б) снять внешнюю $U_{dH} = F(I_{dH})$ и энергетические $P_1 = F(I_{dH})$, $S_1 = F(I_{dH})$, $P_{dH} = F(I_{dH})$, $\chi = F(I_{dH})$, $\cos\varphi = F(I_{dH})$, $\eta = F(I_{dH})$ характеристики выпрямителя с ККМ для заданного значения напряжения на нагрузке U_{dH} в полуавтоматическом режиме. Для этого запустить программу «Менеджер управления». Из предлагаемого списка лабораторных работ выбрать работу «Исследование выпрямителя с корректором коэффициента мощности». Ручкой потенциометра $RP1$ установить заданное напряжение на нагрузке U_{dH} . При помощи регистратора сигналов программы «Менеджер управления» снять внешнюю и энергетические характеристики выпрямителя с ККМ, изменяя ток нагрузки I_{dH} ручкой реостата R_H . Сохранить экспериментальные данные в файл с типом *MathCAD datafile*.

в) обработать экспериментальные данные в программе «*MathCAD*». Добиться построения внешних $U_{dH} = F(I_{dH})$ и энергетических $P_1 = F(I_{dH})$, $S_1 = F(I_{dH})$, $P_{dH} = F(I_{dH})$, $\chi = F(I_{dH})$, $\cos\varphi = F(I_{dH})$, $\eta = F(I_{dH})$ характеристик выпрямителя с емкостным фильтром и выпрямителя с ККМ на одном графике. Здесь $\chi = P_1/S_1$ – коэффициент мощности преобразователя; $\eta = P_{dH}/P_1$ – коэффициент полезного действия преобразователя;

г) снять осциллограммы напряжения u_1 , тока i_1 на входе ККМ, а также выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d при помощи программы «*LGraph*» для заданного напряжения U_{dH} и тока I_{dH} . Для этого ручкой потенциометра $RP1$ установить заданное напряжение на нагрузке U_{dH} , а реостатом R_H – заданный ток нагрузки I_{dH} . Закройте программу «Менеджер управления». Подключить каналы А3 – А4 модуля «Ввод-вывод» к выпрямленному напряжению u_d и выпрямленному току i_d согласно табл. 3. Каналы А1 – А2 не переключать. Запустить программу «*LGraph*». Сохранить временные диаграммы в памяти компьютера. Не забудьте определить масштабы по напряжению, току и времени. Закройте программу «*LGraph*»;

д) повторить пункт 1 г для выпрямителя с корректором коэффициента мощности. Выключить тумблеры «Сеть» и «Питание» в модулях «Корректор коэффици-

ента мощности» и «Ввод-вывод» соответственно, а затем автомат $QF1$ «Модуля питания стенда».

Таблица вариантов

№ варианта	Выпрямитель с фильтром		Выпрямитель с ККМ		№ варианта	Выпрямитель с фильтром		Выпрямитель с ККМ	
	$U_{дн}, В$	$I_{дн}, А$	$U_{дн}, В$	$I_{дн}, А$		$U_{дн}, В$	$I_{дн}, А$	$U_{дн}, В$	$I_{дн}, А$
1	19	0,4	28	0,6	13	19	0,4	28,5	0,55
2	18	0,35	27	0,55	14	18	0,35	27,5	0,5
3	17	0,3	26	0,5	15	17	0,3	26,5	0,45
4	16	0,25	25	0,45	16	16	0,25	25,5	0,4
5	19	0,2	24	0,4	17	19	0,2	24,5	0,35
6	18	0,15	23	0,5	18	18	0,15	23,5	0,45
7	17	0,15	28	0,65	19	17	0,15	28	0,5
8	16	0,2	27	0,6	20	16	0,2	27	0,55
9	19	0,25	26	0,55	21	19	0,25	26	0,45
10	18	0,3	25	0,5	22	18	0,3	25	0,5
11	17	0,35	24	0,45	23	17	0,35	24	0,5
12	16	0,4	23	0,4	24	16	0,4	23	0,45

Примечание.

При подготовке к лабораторной работе студент должен выполнить предварительное домашнее задание, приведенное в работе № 11 части 1 учебного пособия, и изучить описание автоматизированной системы управления и сбора информации, а также методические указания по работе с программным обеспечением стенда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротехника: учеб. пособие для вузов: В 3 кн. Кн. II. Электрические машины. Промышленная электроника. Теория автоматического управления / под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.Л. Шестакова. – М.; Челяб.: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 711 с.
2. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие: в 3 ч. / М.В. Гельман. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – Ч. 2. – 104 с.
3. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие: в 3 ч. / М.В. Гельман. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – Ч. 3. – 155 с.
4. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники / Г.С. Зиновьев – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672 с.
5. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть 1. Лабораторные работы, выполняемые без управления от компьютера	3
Описание лабораторного комплекса	4
Общие рекомендации по выполнению лабораторных работ	14
Работа №1. Исследование однофазного однополупериодного неуправляемого выпрямителя	18
Работа №2. Исследование однофазных однополупериодных управляемых выпрямителей	24
Работа №3. Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей	30
Работа №4. Исследование режимов работы трехфазных управляемых выпрямителей	41
Работа №5. Исследование однокомплектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования	48
Работа №6. Исследование двухкомплектного реверсивного преобразователя	54
Работа №7. Исследование импульсных преобразователей и стабилизаторов постоянного напряжения	62
Работа №8. Исследование трехфазного автономного инвертора напряжения .	71
Работа №9. Исследование двухзвенного преобразователя частоты	81
Работа №10. Исследование однофазного преобразователя переменного напряжения	89
Работа №11. Исследование неуправляемого выпрямителя с корректором коэффициента мощности	94
Работа №12. Исследование источника вторичного электропитания	101
Часть 2. Особенности выполнения лабораторных работ на автоматизированном лабораторном комплексе	109
Описание автоматизированной системы управления и сбора информации	109
Описание и методические указания по работе с программным обеспечением стенда	112
Работа №3А. Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей	125
Работа №5А. Исследование однокомплектного рекуперирующего преобразователя в режимах выпрямления и инвертирования	131

Работа №6А. Исследование двухкомплектного реверсивного преобразователя	137
Работа №8А. Исследование трехфазного автономного инвертора напряжения	144
Работа №9А. Исследование двухзвенного преобразователя частоты	149
Работа №11А. Исследование неуправляемого выпрямителя с корректором коэффициента мощности	154
Библиографический список	159