

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Практикум

ПЕНЗА 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

Исследование электрических приводов

Практикум

Составители:

В. Н. Ашанин, С. Г. Исаев,
А. М. Савельев, В. С. Чапаев

Пенза
Издательство ПГУ
2025

УДК 621.313
И88

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры
«Информационно-измерительная техника и метрология»
Пензенского государственного университета
А. Д. Семенов

Исследование электрических приводов : практикум /
И88 **сост.: В. Н. Ашанин, С. Г. Исаев, А. М. Савельев, В. С. Чапаев. –**
Пенза : Изд-во ПГУ, 2025. – 48 с.

Описан лабораторный практикум по исследованию электрических приводов постоянного и переменного токов на базе универсального лабораторного комплекса, выпускаемого Южно-Уральским государственным университетом (г. Челябинск).

Издание подготовлено на кафедре «Электроэнергетика и электротехника» ПГУ и предназначено для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.313

© Пензенский государственный
университет, 2025

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Назначение и технические характеристики лабораторного учебно-исследовательского комплекса по исследованию электропривода	5
Лабораторная работа № 2. Исследование преобразователя частоты UNIDRIVE Uni1401	20
Лабораторная работа № 3. Исследование разомкнутой системы управления «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	31
Лабораторная работа № 4. Исследование системы регулирования скорости двигателя постоянного тока	38
Список литературы	45
Приложение	46

Введение

В процессе развития в электроприводе стали использовать электронные и программные компоненты, поэтому современный электропривод – сложное техническое устройство, применяемое в военной, промышленной, бытовой и других сферах жизнедеятельности человека, требующее современных знаний, умений и навыков от специалистов при проектировании, эксплуатации и обслуживании такой технической системы.

В предлагаемом практикуме приведены практические методики исследования приводов постоянного и переменного тока, которые адаптированы к изменившимся возможностям и требованиям к процессу обучения в высшей школе. Контрольные вопросы позволяют обучающимся лучше понять структуру и принципы действия конкретных модулей электропривода и оценить происходящие в нем процессы.

Лабораторная работа № 1

Назначение и технические характеристики лабораторного учебно-исследовательского комплекса по исследованию электропривода

Цель работы: предварительное ознакомление с назначением, техническими характеристиками, паспортными и расчетными данными, основами принципов действия и параметрами модулей и электрических машин, входящих в состав комплекса (стенда).

Основные этапы работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории по предварительному ознакомлению с назначением, техническими характеристиками, паспортными и расчетными данными, основами принципов действия и параметрами модулей и электрических машин, входящих в состав стенда.

2. Работа в лаборатории, связанная с предварительным ознакомлением с назначением, техническими характеристиками, паспортными и расчетными данными, основами принципов действия и параметрами модулей и электрических машин, входящих в состав комплекса.

3. Обработка и анализ полученной при внеаудиторной подготовке и в лаборатории информации, оформление отчета о проделанной работе.

4. Защита лабораторной работы.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники [3, 4] и настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

– ознакомиться с назначением, техническими характеристиками, паспортными параметрами, основами принципов действия и параметрами модулей и электрических машин, входящих в состав стенда.

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Лабораторная работа выполняется с использованием оборудования универсального учебно-исследовательского стенда. В процессе ознакомления со стендом необходимо выяснить расположение основных модулей и электромашиного агрегата, а также возможности по их объ-

единению в лабораторные установки с помощью соединительных проводов и кабелей и ответить на соответствующие вопросы преподавателя, позволяющие оценить уровень понимания материала, изученного в п. 1.1.

Методические указания

Лабораторный учебно-исследовательский комплекс [1, 2] реализован по модульному принципу и предназначен для исследования электрического привода (ЭП) постоянного и переменного токов.

В состав лабораторной установки входят (рис. 1.1):

- функционально полные электротехнические, электромеханические и измерительные модули;
- электромашинный агрегат.

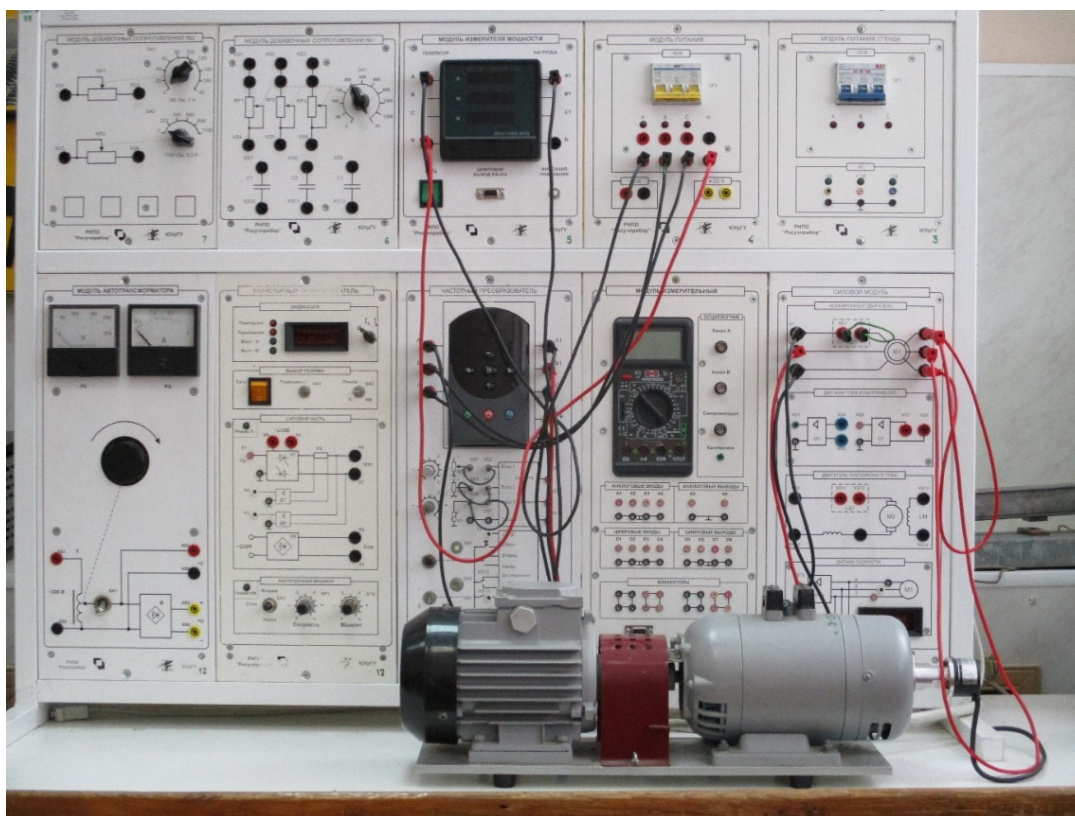


Рис. 1.1. Общий вид лабораторного комплекса

Рассмотрим кратко их назначение и технические характеристики.

Электромашинный агрегат

Электромашинный агрегат представляет собой соединенные на одном валу три электрические машины (ЭМ):

- машину постоянного тока с обмоткой независимого возбуждения (220 В, 180 Вт, 1500 об/мин);

- трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (3×380 В, 370 Вт, 1370 об/мин);
- импульсный датчик скорости (1000/500 имп./об.).

Более полные технические характеристики исследуемых электрических машин приведены в приложении.

Силовой модуль

Силовой модуль (рис. 1.2) предназначен для подключения электрических машин электромашинного агрегата в схемы лабораторных исследований.

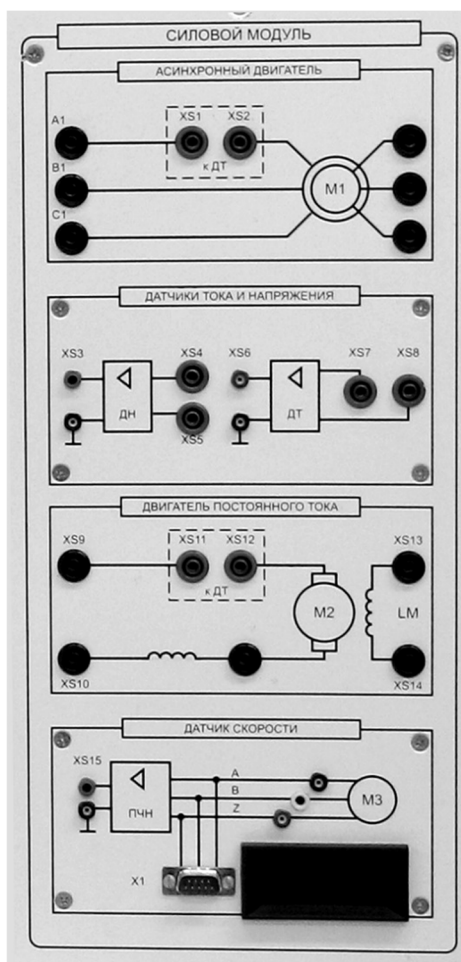


Рис. 1.2. Силовой модуль

На переднюю панель этого модуля выведены клеммы для подключения асинхронного трехфазного двигателя (M1) и двигателя постоянного тока (M2) к другим модулям комплекса с целью исследования характеристик ЭМ и ЭП.

Кроме того, на силовом модуле расположены датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), предназначенные для подготовки ввода в компью-

тер значений напряжения и тока с двигателя постоянного тока. Датчики тока и напряжения лабораторного комплекса имеют *унифицированные выходные сигналы* и коэффициенты преобразования, значения которых приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Параметры датчиков

Параметр	Значение
Диапазон выходных напряжений датчиков	0... ±10 В
Коэффициент передачи датчика тока	0,5 А/В
Коэффициент передачи датчика напряжения	50 В/В

В нижней части силового модуля находится индикатор скорости (в об/мин) электромашинного агрегата. Кроме того, здесь располагается преобразователь частота-напряжение (ПЧН), преобразующий частоту вращения электромашинного агрегата в диапазоне 0...±1800 об/мин в пропорциональный сигнал напряжения 0...±10 В, информация с которого может вводиться для измерения в персональный компьютер.

В лабораторной установке реализована возможность измерения частоты вращения электрических машин с помощью электронного частотомера, подключаемого к разъему X1.

Модуль измерительный постоянного тока

Измерительный модуль (рис. 1.3) используется в лабораторной работе № 4 для определения параметров, характеристик машины постоянного тока. Он не смонтирован на стенде и устанавливается отдельно.

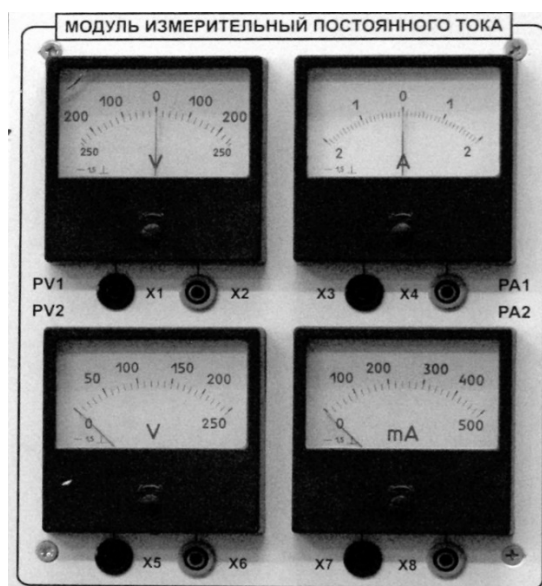


Рис. 1.3. Модуль измерительный постоянного тока

Данный модуль позволяет измерить стрелочными приборами магнитоэлектрической системы типа М42300 два напряжения (вольтметры PV1 и PV2) и два тока (амперметры PA1 и PA2). Пределы измерений и класс точности приборов приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Пределы измерений и класс точности приборов

Наименование прибора	Пределы измерения	Цена деления	Класс точности
PV1	$-250...0...+250$ В	20 В/дел	1,5
PV2	$0...250$ В	10 В/дел	1,5
PA1	$-2...0...+2$ А	0,1 А/дел	1,5
PA2	$0...500$ мА	20 мА/дел	1,5

Модуль измерителя мощности

Модуль (рис. 1.4) предназначен для измерений цифровым прибором DM2416 действующих значений напряжения и тока, активной мощности, коэффициента мощности, частоты в цепях переменного тока.

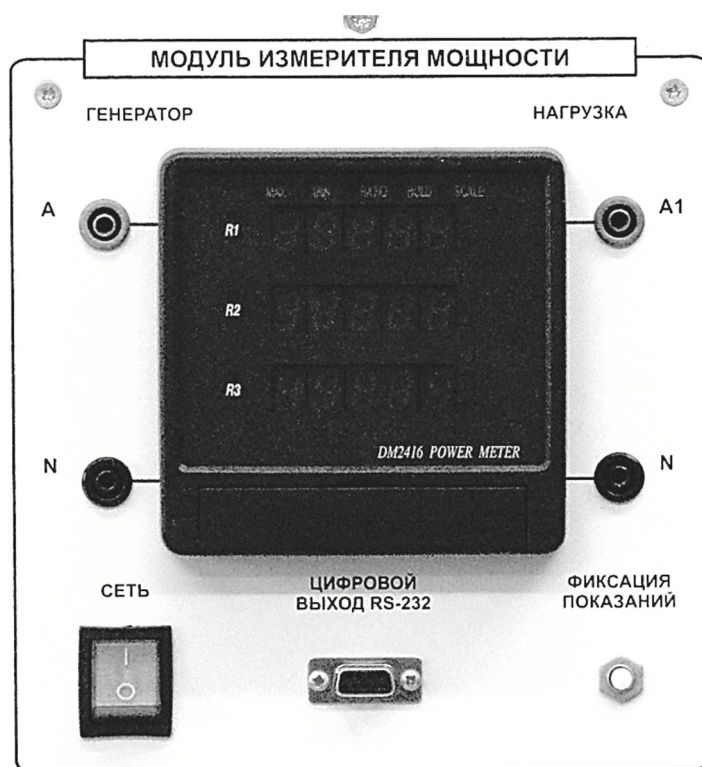


Рис. 1.4. Модуль измерителя мощности

Модуль содержит:

– трехстрочный дисплей цифрового прибора (верхняя строка указывает напряжение, а при переключении с помощью клавиши Hz/PF –

частоту и коэффициент мощности, средняя – ток, нижняя – активную мощность);

- клеммы генератора А и N и нагрузки А1 и N;
- выключатель напряжения питания сети «Сеть»;
- кнопку фиксации показаний.

Технические характеристики измерительного прибора приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Технические характеристики модуля измерения мощности

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность, %
Напряжение, В	32–640	$\pm 0,15$
Ток, А	0,05–5	$\pm 0,15$
Частота, Гц	40–400	$\pm 0,2$
Активная мощность, Вт	1–3200	$\pm 0,3$
Коэффициент мощности	0,8–1,0	$\pm 0,3$

З а м е ч а н и е. Метрологические характеристики прибора гарантируются при гармонической форме измеряемых величин, *нормальных климатических условиях* и номинальном диапазоне частот 40–400 Гц.

На лицевой панели расположен также разъем для подключения модуля к персональному компьютеру по последовательному порту RS-232.

Модуль преобразователя частоты

Преобразователь частоты (ПЧ) обеспечивает преобразование трехфазного переменного напряжения 3×380 В промышленной частоты 50 Гц в трехфазное напряжение с регулируемыми значениями напряжения и частоты. В состав преобразователя входят выпрямитель переменного напряжения в постоянное и инвертор. ПЧ обеспечивает регулирование скорости вращения ротора асинхронного двигателя, компенсацию скольжения, форсировку напряжения, ***скалярное или векторное управление***.

Модуль преобразователя частоты (рис. 1.5) содержит:

- преобразователь частоты UNI1401 с двухстрочным дисплеем и кнопками ввода параметров;
- потенциометры PR1 и PR2 для задания необходимого значения резистивных сопротивлений и резистор R1, имитирующий сопротивление термодатчика;
- силовые клеммы подачи трехфазного входного напряжения А, В, С и снятия выходного напряжения А1, В1, С1;

- клеммы маломощных аналоговых сигналов управления преобразователем (XS2 – «Вход 1», XS4 – «Вход 2», XS6 – «Вход 3»);
- клеммы XS8 и XS9 выходных аналоговых сигналов, пропорциональных, соответственно, частоте вращения и моменту на валу асинхронного электрического двигателя;
- переключатели SA1 (направление вращения), SA2 (выбор управления) и SA3 (подачи разрешения на работу);
- кнопку SB1 «Сброс» для сброса ошибки;
- разъемы XR1 (ПК) подключения персонального компьютера для программирования преобразователя с помощью программного обеспечения UNISOFT и XR2 (ДС) для подключения датчика скорости при исследовании замкнутой системы электропривода переменного тока.

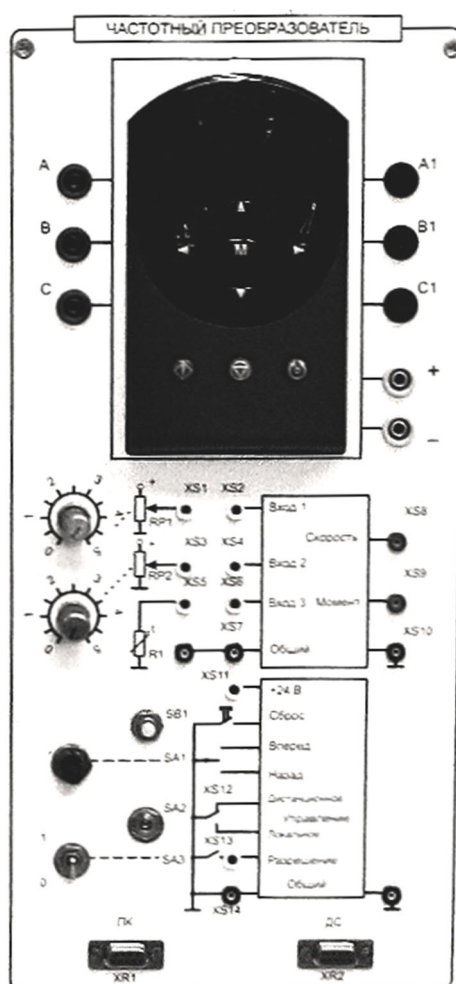


Рис. 1.5. Модуль частотного преобразователя

Основы принципа действия частотного преобразователя

Частотный преобразователь – это устройство, состоящее из выпрямителя, преобразующего переменный ток промышленной частоты

в постоянный, и инвертора (преобразователя), преобразующего постоянный ток в переменный требуемой частоты и амплитуды.

Электронный преобразователь частоты состоит из схем, в состав которых входят тиристоры или транзисторы, которые работают в режиме электронных ключей (рис. 1.6, 1.7).

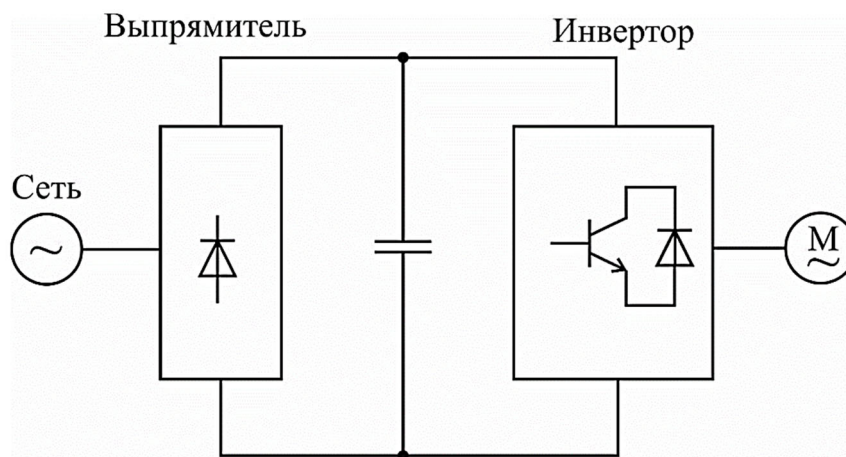


Рис. 1.6. Функциональная схема преобразователя частоты, выполненная по схеме источника напряжения

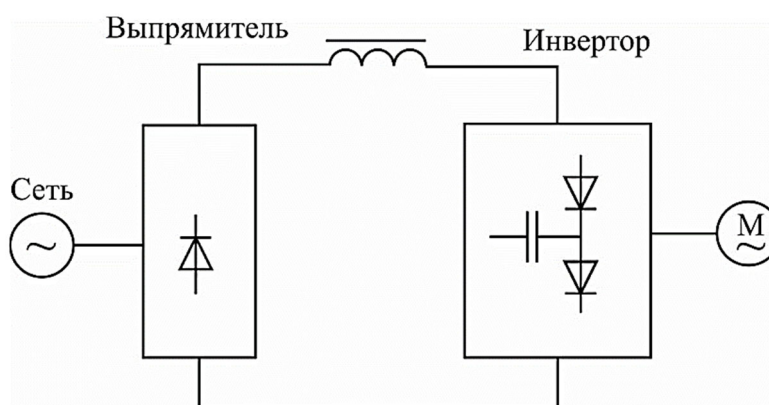


Рис. 1.7. Функциональная схема преобразователя частоты, выполненная по схеме источника тока

В основе управляющей части частотного преобразователя находится микропроцессор, который обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

Тиристорный преобразователь постоянного тока

Модуль тиристорного преобразователя постоянного тока (рис. 1.8) обеспечивает преобразование однофазного переменного напряжения 220 В

промышленной частоты 50 Гц в регулируемое постоянное напряжение в диапазоне 0–220 В.

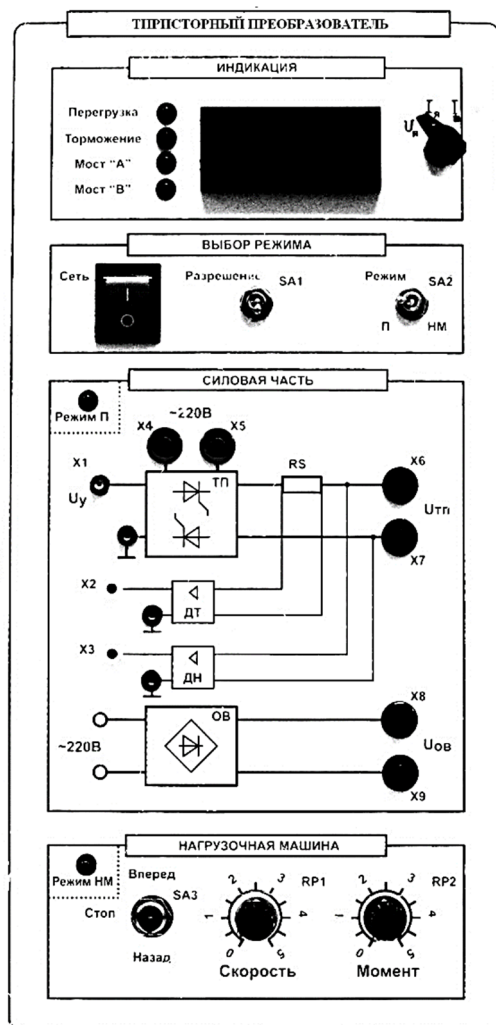


Рис. 1.8. Модуль тиристорного преобразователя постоянного тока

Тиристорный преобразователь (ТП) представляет собой реверсивный четырехквadrантный преобразователь с возможностью *рекуперации энергии в сеть*.

Модуль ТП содержит цифровой индикатор, силовую часть и элементы управления. Силовая часть модуля содержит клемму X1 входного сигнала управления U_y , клеммы X6, X7 выходного регулируемого силового напряжения U_{TP} , клеммы X8, X9 нерегулируемого напряжения обмотки возбуждения U_{OB} .

Кроме того, на переднюю панель модуля выведены клеммы датчика тока (ДТ) X2 и датчика напряжения (ДН) X3 преобразователя.

На индикаторе отображаются значения выходного напряжения тока преобразователя и тока возбуждения. Выбор параметра индикации осуществляется переключателем, который расположен справа от инди-

катора. Кроме этого, в модуле выведены сигналы о срабатывании защиты, разрешении работы (торможении) и режиме работы ТП.

Модуль ТП может работать в одном из двух основных режимов: собственно преобразователь и как регулятор задания нагрузки (нагрузочная машина). В первом случае выполняется преобразование мало-мощного сигнала управления, подаваемого на вход, в пропорциональное выходное напряжение. Во втором случае управление ТП выполняется с помощью ручек потенциометров RP1 («П») и RP2 («М»), позволяющих отдельно регулировать по скорости и моменту машину постоянного тока.

Управление модулем выполняется с помощью следующих элементов:

- переключатель «Сеть» подключает напряжение питания модуля и дает разрешение на работу преобразователя;
- выключатель «Разрешение» SA1 переводит ТП в рабочий режим;
- переключатель «Режим» SA2 позволяет установить необходимый режим работы модуля ТП (П – преобразователь, НМ – нагрузочная машина).

При работе модуля в режиме нагрузочной машины управление выполняется с помощью:

- переключателя направления вращения SA3;
- потенциометра RP1 задания частоты вращения n (об/мин);
- потенциометра RP2 задания момента двигателя M (Н·м).

При необходимости управления машиной постоянного тока в режиме поддержания частоты вращения перевести потенциометр RP2 на максимальное значение сопротивления (крайнее правое по ходу часовой стрелки положение), при этом управление скоростью вращения будет выполняться потенциометром RP1.

При управлении машиной постоянного тока в режиме поддержания момента перевести потенциометр RP1 на максимум (крайнее правое по ходу часовой стрелки положение), при этом управление моментом будет выполняться потенциометром RP2.

Основы принципа действия тиристорного преобразователя

Основной системой регулируемого электропривода с двигателями постоянного тока является система ТП-ДПТ (тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока). ТП в схемах электропривода постоянного тока выполняет две функции: выпрямление переменного напряжения питающей сети и регулирование средней величины выпрямленного напряжения.

Функцию регулирования среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя с импульсно-фазовым управлением рассмотрим на примере однофазной мостовой схемы (рис. 1.9).

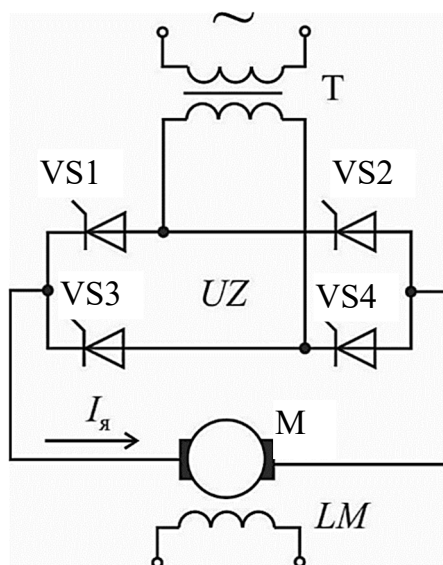


Рис. 1.9. Однофазная мостовая схема электропривода ТП-ДПТ

Если отпирающие импульсы на тиристоры VD1 и VD4 (и соответственно тиристоры VD3 и VD2 при другой полуволне синусоиды питающего напряжения) подаются в момент естественного открывания, когда напряжение катод-анод становится положительным, то среднее выпрямленное напряжение, определяемое заштрихованной площадью на рис. 1.10,а, будет максимальным и равным

$$E_{d0} = k_{cx} U_{л},$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение на стороне переменного тока; k_{cx} – коэффициент схемы выпрямления (0,9 – для однофазной мостовой схемы).

Если отпирающие импульсы на тиристоры будут подаваться с запаздыванием относительно момента естественного открывания на угол α (угол управления тиристорами), то среднее выпрямленное напряжение преобразователя будет уменьшаться, как это показано на рис. 1.10,б,в. При этом тиристоры VD1 и VD4 будут проводить ток до тех пор, пока не откроются тиристоры VD3 и VD2, т.е. и в то время, когда напряжение катод-анод будет отрицательным. Это объясняется тем, что в цепи выпрямленного тока имеется достаточно большая индуктивность обмотки якоря двигателя $L_{я}$ и ток будет протекать под действием ЭДС самоиндукции. Если же в цепи выпрямленного тока не было бы индуктивности (чисто активная нагрузка), то ток прекратился бы при переходе анодного напряжения через ноль; ток в этом случае был бы прерывистым. При до-

статочно большом значении индуктивности $L_{\text{я}}$ соотношение между средним выпрямленным напряжением преобразователя и углом α будет

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha.$$

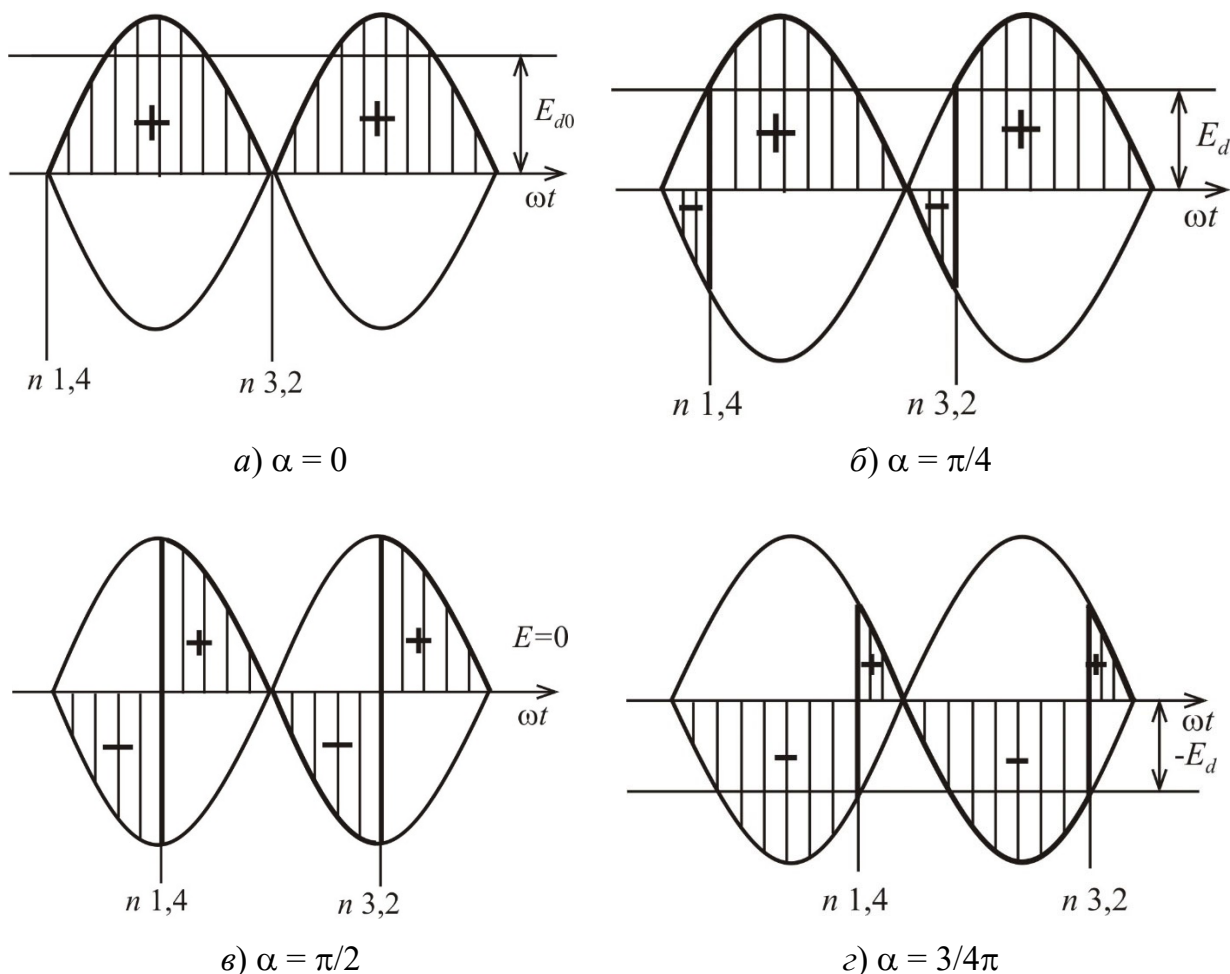


Рис. 1.10. Эпюры напряжений однофазного мостового тиристорного преобразователя при различных углах управления α

Среднее выпрямленное напряжение определяется разностью заштрихованных площадей. При значении угла регулирования $\alpha = \pi/2$ среднее выпрямленное напряжение (см. рис. 1.10,в) будет равно нулю.

Тиристорный преобразователь может работать в *выпрямительном* и *инверторном режимах*. Выпрямительный режим имеет место при углах регулирования $\alpha = 0 \div \pi/2$. При этом среднее выпрямленное напряжение должно быть больше ЭДС в цепи выпрямленного тока (противо-ЭДС якоря двигателя) $E_d > E_{\text{я}}$. Направление выпрямленного тока совпадает со знаком выпрямленного напряжения преобразователя.

Если угол α увеличить сверх $\pi/2$, то площадь отрицательной полу волны, при которой открыты тиристоры, будет больше площади положительной полу волны (см. рис. 1.10,г) и, следовательно, среднее вы-

прямленное напряжение преобразователя будет отрицательным. Возникает инверторный режим работы преобразователя, который может быть использован для обеспечения рекуперативного торможения привода.

Под действием отрицательного напряжения преобразователя ток не идет из-за односторонней проводимости тиристоров. Поэтому инверторный режим преобразователя возможен при соблюдении трех условий:

1. В цепи выпрямленного тока должен быть источник ЭДС, величина которой превосходит среднее значение выпрямленной противо-ЭДС инвертора; в схемах тиристорного привода постоянного тока – ЭДС якоря двигателя должна быть больше E_d инвертора $E_a > |E_d|$.

2. Источник ЭДС (якорь двигателя) должен быть так подключен к преобразователю, чтобы было возможно протекание тока под действием ЭДС якоря.

3. Угол управления тиристорами должен быть больше $\pi/2$.

При соблюдении этих условий двигатель постоянного тока будет работать в генераторном режиме, вырабатывая энергию постоянного тока, которая преобразуется тиристорным преобразователем в энергию переменного тока и отдается в питающую сеть. Электропривод ТП-ДПТ, в котором двигатель питается от двух встречно-включенных преобразователей, называется **реверсивным**.

Модуль регуляторов

Модуль регуляторов не смонтирован на стенде и устанавливается отдельно при исследовании привода в лабораторной работе № 4. На модуле регуляторов расположены элементы *аналоговой системы управления электрического привода с подчиненным регулированием*. На лицевой стороне этого модуля (рис. 1.11) расположены:

- задатчик интенсивности на базе операционного усилителя DA1;
- регулятор скорости на базе DA2;
- регулятор тока на базе DA3.

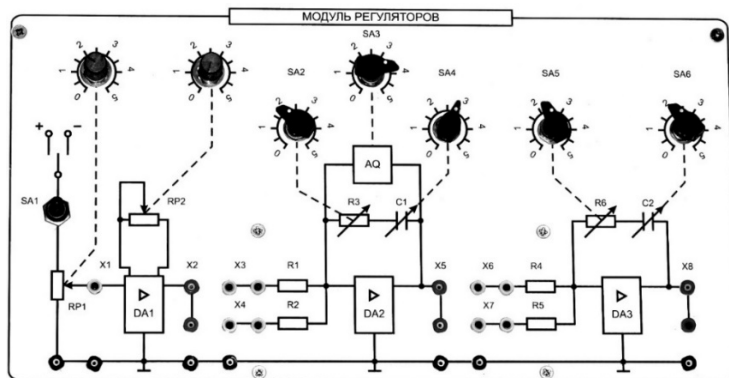


Рис. 1.11. Модуль регуляторов

Сигнал задания уровня интенсивности подается на вход Х1 задатчика интенсивности, выход задатчика – клемма Х2. Для смены полярности входного сигнала используется переключатель SA1, изменение его уровня выполняется потенциометром RP1. Второй потенциометр RP2 используется для изменения темпа нарастания выходного сигнала задатчика.

Регулятор скорости представляет собой *ПИИ-регулятор* с блоком ограничения. Входные сигналы регулятора подаются на клеммы Х3 и Х4, выходной сигнал снимается с клеммы Х5. Амплитуда выходного сигнала регулятора изменяется блоком ограничения AQ с переключателем SA3. Коэффициент усиления и постоянная времени *П- и И-каналов регулятора* изменяются переключателями SA2 и SA4.

Регулятор тока представляет собой *ПИ-регулятор*. Выходные сигналы регулятора подаются на клеммы Х6 и Х7, выходной сигнал снимается с клеммы Х8. Коэффициент усиления и постоянная времени *П- и И-каналов регулятора* изменяются переключателями SA5 и SA6.

Контрольные вопросы

1. Из каких модулей и агрегата состоит лабораторный комплекс?
2. Каковы параметры электрических машин электромашинного агрегата?
3. Из каких элементов состоит силовой модуль?
4. Из каких приборов состоят измерительный модуль постоянного тока и модуль измерителя мощности? Назовите их технические характеристики.
5. Для каких целей служит модуль преобразователя частоты?
6. Объясните принцип действия частотного преобразователя.
7. Возможна ли в исследуемом преобразователе частоты рекуперация энергии в сеть?
8. Какой диапазон частот регулирования обеспечивает исследуемый преобразователь? Можно ли их в полном диапазоне апробировать на асинхронном двигателе?
9. Что представляет собой модуль тиристорного преобразователя?
10. Из каких частей состоит модуль тиристорного преобразователя?
11. Как осуществляет функцию регулирования среднего значения выпрямленного напряжения тиристорный преобразователь?

12. При каких условиях возможен выпрямительный режим работы тиристорного преобразователя?

13. При каких условиях возможен инверторный режим работы тиристорного преобразователя? Для чего он используется?

14. На базе чего изготовлены элементы модуля регуляторов?

15. Что представляют собой регуляторы скорости и тока?

16. Объясните технические термины, выделенные в тексте жирным шрифтом.

Лабораторная работа № 2

Исследование преобразователя частоты UNIDRIVE Uni1401

Цель работы: изучение технических характеристик, режимов работы, основных параметров и способов управления преобразователем частоты фирмы Control Techniques UNIDRIVE Uni1401; выполнение экспериментального исследования процессов пуска и торможения в системе управления «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Основные этапы работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории по изучению экспериментальной схемы для исследования преобразователя частоты (ПЧ) Uni1401, состава и назначения используемых модулей лабораторной установки. Ознакомление с каталожными данными на асинхронный двигатель, конструкцией и техническими характеристиками преобразователя UNIDRIVE Uni1401.

2. Работа в лаборатории, связанная с экспериментальным исследованием преобразователя частоты, включающая ввод каталожных данных и проведение самонастройки привода, выполнение пуска от кнопочной панели и лицевой панели модуля, регулирование скорости и момента.

3. Обработка и анализ полученной в лаборатории информации, оформление отчета по проделанной работе.

4. Защита лабораторной работы.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники [3, 4] и настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

– ознакомиться с назначением преобразователей частоты и принципом их работы;

– изучить устройство лабораторной установки и модулей, применяемых в данной работе.

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Лабораторная работа выполняется на универсальном учебно-исследовательском стенде. Перед началом работы необходимо ознакомиться с расположением электрооборудования, поскольку при проведе-

нии лабораторных исследований используются только модули, показанные на рис. 2.1.

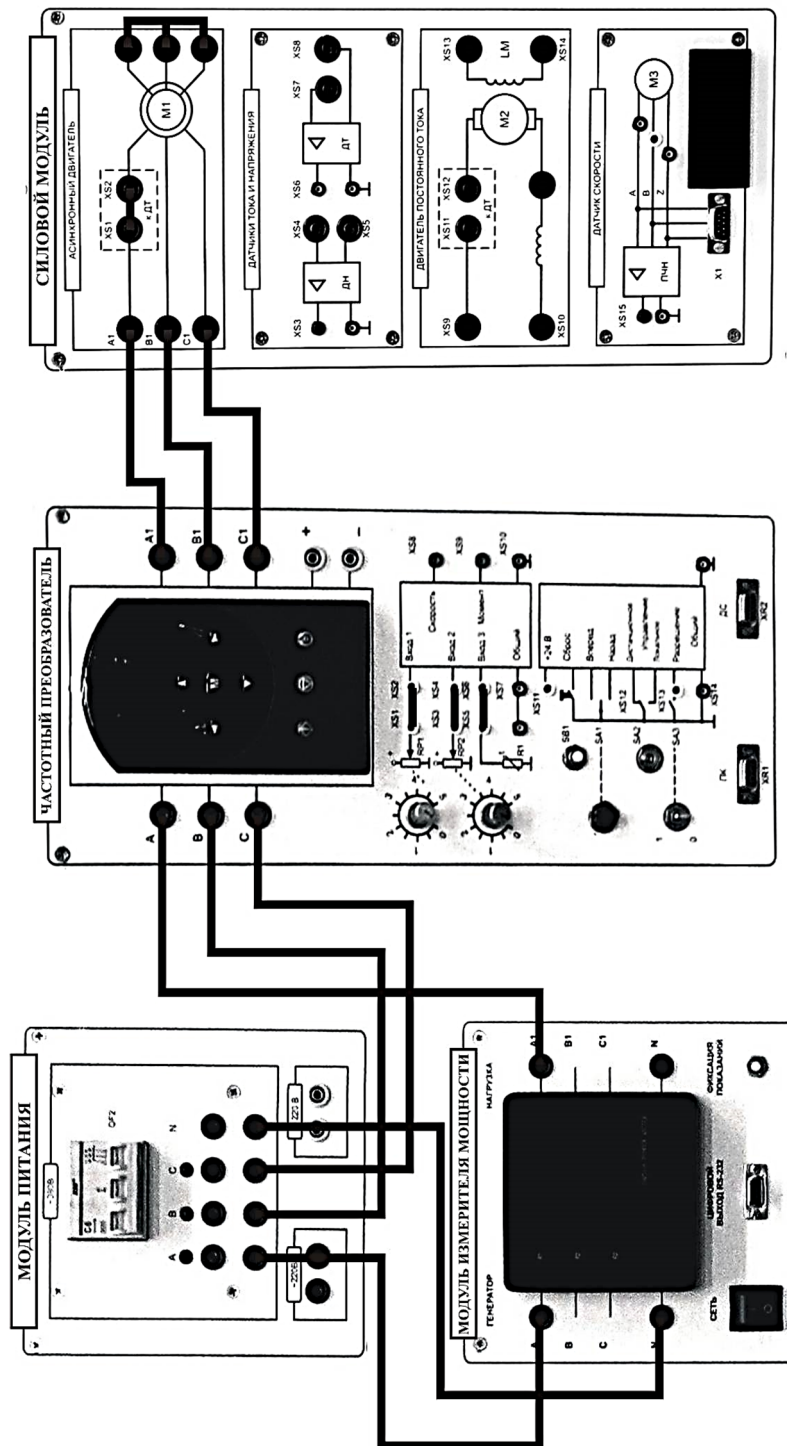


Рис. 2.1. Схема электрических соединений модулей стенда для исследования преобразователя частоты Uni1401

2.2. Сборка лабораторной установки.

Для выполнения лабораторного задания необходимо выполнить соединения проводами между модулями, показанные на схеме жирными

линиями. Для включения преобразователя на стенде необходимо соединить клеммы маломощных аналоговых сигналов управления преобразователя частоты XS2 – «Вход 1», XS4 – «Вход 2» и XS6 – «Вход 3» соответственно с потенциометрами RP1 (XS1), RP2 (XS3) и термистором двигателя R1 (XS5), подключить выходные клеммы модуля питания к силовым клеммам подачи трехфазного напряжения А, В, С модуля частотного преобразователя и соединить клеммы выходного напряжения преобразователя А1, В1 и С1 со статорными обмотками асинхронного двигателя силового модуля. При работе с частотным преобразователем используется асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором.

2.3. Подготовка преобразователя частоты к работе.

Для этого необходимо выполнить следующие операции:

а) установить переключатели и потенциометры модуля в исходные состояния: переключатель SA1 «Направление вращения» – в среднее положение; переключатель SA3 «Разрешение» – в положение «0»; потенциометры RP1 и RP2 – в крайние положения против хода часовой стрелки;

б) включить последовательно автоматические выключатели QF1 модуля питания стенда и далее QF2 модуля питания, при этом включится вентилятор преобразователя и на дисплее частотного преобразователя должны появиться сообщения:

- в верхней строке индикатора последовательно друг за другом – мигающие «OPEN.LP» и «Et»;

- в нижней строке – «triP» (преобразователь отключен).

Если на дисплее частотного преобразователя появились другие сообщения, то необходимо выполнить следующие операции:

- изменить значение параметра 0.00 на 1253 (разрешение на изменение работы преобразователя);

- установить значение параметра 0.48 на «OPEN.LP» (выбор режима работы преобразователя как разомкнутой системы);

- нажать кнопку «Стоп-Сброс» на лицевой панели преобразователя частоты;

в) установить заводские параметры настройки преобразователя. Для этого установить значение параметра 0.00 равным 1233 и нажать кнопку SB1 «Сброс». Это необходимо сделать, потому что при выполнении лабораторной работы другими студентами параметры настройки могли быть изменены. Для ввода своих параметров вначале выполняется установка заводских настроек и далее ввод каталожных данных на электрический двигатель;

г) используя каталожные данные на асинхронный двигатель (см. табл. П.2), ввести в преобразователь параметры двигателя:

- 0.42 – число полюсов;
- 0.43 – коэффициент мощности (можно не вводить);
- 0.44 – номинальное напряжение;
- 0.45 – номинальная скорость (об/мин);
- 0.46 – номинальный ток;
- 0.47 – номинальная частота;

д) выполнить самонастройку привода. Частотный преобразователь кратковременно включает асинхронный двигатель и выполняет расчет значения $\cos\varphi$ ненагруженного двигателя. Самонастройка выполняется следующим образом:

- переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;
- установить параметр 0.40 в «1», после того как дисплей перейдет в режим индикации, нажать кнопку SB1 «Сброс», двигатель совершит несколько оборотов вала, и параметр 0.40 автоматически установится в значение «0»;

- переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0»;
- после проведения самонастройки преобразователя проверить параметры 0.42–0.47;

е) сохранить новые измененные значения параметров. Для этого:

- установить в параметр 0.00 значение 1000;
- нажать кнопку «М» на кнопочной панели преобразователя частоты;
- нажать кнопку SB1 «Сброс» – измененные параметры зафиксированы (при этом параметр 0.00 установится в «0»).

2.4. Пробный пуск привода от кнопочной панели.

Такой способ регулирования скорости асинхронного двигателя позволяет изменить его скорость вращения с использованием средств только частотного преобразователя. Для этого:

- а) установить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0»;
- б) установить в параметр 0.01 значение «0» (минимальная частота, Гц), а в параметр 0.02 – значение «50» (максимальная частота, Гц);
- в) установить в параметр 0.05 значение «4» для управления от кнопочной панели преобразователя;
- г) выбрать параметр 0.10 (скорость двигателя в об/мин), дождаться возврата дисплея в режим индикации (мигающий верхний «Et» и нижний «triP»);
- д) переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;
- е) нажать кнопку «Стоп-Сброс» (появится сообщение «rdY» – готовность преобразователя к работе);

ж) для запуска преобразователя нажать кнопку «I» («Пуск») на лицевой панели преобразователя частоты, после чего появится сообщение «run» (преобразователь работает);

з) нажать кнопку «▲» – «Вверх» для увеличения скорости двигателя и соответственно кнопку «▼» – «Вниз» для ее уменьшения (на верхнем дисплее высвечивается скорость двигателя, об/мин);

и) нажать кнопку «Стоп-Сброс», и скорость двигателя снизится до нуля в соответствии с величиной замедления, указанной параметром 0.04, нижний дисплей покажет «dEC», а затем «rdY». При повторном запуске (кнопка «I») скорость двигателя возрастет до того значения, при котором было произведено отключение в соответствии с величиной ускорения, указанной параметром 0.03;

к) для полной остановки преобразователя частоты тумблер SA3 «Разрешение» перевести в положение «0».

2.5. Пробный пуск электрического привода при внешнем управлении.

Внешнее управление обеспечивает дистанционное регулирование скорости двигателя, более простой способ изменения режимов работы преобразователя. Для этого необходимо:

а) установить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0», потенциометры RP1 и RP2 – в положение «0» (крайнее положение против хода часовой стрелки), переключатель SA1 «Направление вращения» – в среднее положение;

б) установить в параметре 0.05 значение «0» для внешнего управления;

в) выбрать параметр 0.10 (индикация скорости двигателя, об/мин);

г) переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;

д) переключателем SA1 выбрать направление вращения «Вперед»;

е) нажимать на кнопку SB 1 «Сброс» до появления на индикаторе сообщения «run»;

ж) потенциометром RP1 задать скорость вращения двигателя. Текущая скорость высвечивается на верхней строке дисплея;

з) изменить направление вращения, для этого переключателем SA1 выбрать направление вращения «Назад». Скорость снизится до нуля и далее произойдет реверс электрического привода;

и) для выхода преобразователя из рабочего режима тумблер SA3 «Разрешение» перевести в положение «0».

2.6. В целях уменьшения/увеличения пусковых токов и моментов в приводе изменяются значения темпов разгона и торможения. Для этого необходимо изменить параметры 0.03 и 0.04, увеличив, например, пер-

вый в три раза и уменьшив второй в два раза. Далее выполнить то же самое, что и в п. 2.5.

2.7. Регулирование момента по макросу 4 позволяет изменить режим работы ПЧ, а именно: вызвать специализированную подпрограмму преобразователя частоты, которая обеспечивает режим поддержания неизменным в соответствии с заданным значением либо момента двигателя, либо скорости вращения. Эти специализированные программы в ПЧ Uni140l называются макросами. Макросами (макрокомандами) в интерактивных системах принято называть команды, вызывающие выполнение последовательности других команд. В этом преобразователе существует возможность работы с пятью различными макросами (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Макросы преобразователя

Номер макроса	Функция
1	Облегченный режим аналогового регулирования частоты/скорости для основных применений (имеется доступ только к ограниченному числу параметров)
2	Цифровой потенциометр (частота/скорость регулируется кнопками «больше» и «меньше»)
3	Четыре предварительно установленных частоты/скорости, выбор одной из которых осуществляется внешними дискретными сигналами управления
4	Регулирование момента
5	Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор)

Если ПЧ и асинхронный двигатель используются в качестве нагрузочной машины (источника момента), полезным является режим поддержания момента, т.е. перевод работы преобразователя в режим «Регулирование момента» (макрос 4). Этот макрос удобен еще и тем, что в зависимости от положения переключателя «Управление» в приводе могут быть реализованы фактически две различные системы регулирования: поддержание момента и поддержание скорости вращения.

Для перехода преобразователя в работу по макросу 4 необходимо:

а) установить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0», потенциометры RP1 и RP2 – в положение «0» (крайнее положение против хода часовой стрелки), переключатель SA1 «Направление вращения» – в среднее положение;

б) установить параметр 0.00, ввести значение 2004 и нажать кнопку «М» для записи его в память. После этого преобразователь будет переведен в режим работы 4 макроса «Регулирование момента»;

в) переключателем SA2 выбрать управление «Дистанционное», а переключателем SA1 – направление «Вперед»;

г) переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;

д) нажимать кнопку SB1 «Сброс» до появления на дисплее сообщения «gun»;

е) потенциометром RP1 задать момент двигателя (задаваемое значение записано в параметре 0.25); потенциометром RP2 задать скорость вращения двигателя (задаваемое значение записано в параметре 0.10). Двигатель разгоняется до заданной скорости вращения, на валу обеспечивается заданный момент;

ж) установить потенциометры RP1 и RP2 в положение «0»;

з) для выхода преобразователя из рабочего режима тумблер SA3 «Разрешение» перевести в положение «0».

3. По результатам проделанной работы сделать обобщенные выводы для каждого исследованного режима работы преобразователя частоты.

Методические указания

Исследуемый преобразователь находится в составе модуля частотного преобразователя. ПЧ Uni1401 обеспечивает преобразование трехфазного напряжения промышленной частоты 50 Гц в трехфазное напряжение регулируемой частоты 0–400 Гц. Плавное изменение частоты выходного напряжения преобразователя обеспечивает регулирование скорости вращения асинхронного двигателя, поддержание момента двигателя при пуске, торможении в допустимых пределах.

Функционально преобразователь содержит силовую часть (неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока и автономный инвертор), систему управления, а также узел индикации и кнопочную панель управления.

Настройки ПЧ UNIDRIVE позволяют реализовать следующие режимы работы электрического привода:

1. *Разомкнутая система управления (без обратной связи по скорости двигателя).*

Данный режим используется для управления асинхронными двигателями. ПЧ подает на двигатель переменный ток, частота которого изменяется пользователем. Скорость двигателя определяется выходной частотой привода, а скольжение – механической нагрузкой. ПЧ может питать несколько двигателей, соединенных параллельно (каждый двигатель должен быть защищен от перегрузки). ПЧ может улучшить характеристики двигателя, используя:

– компенсацию скольжения;

– форсировку напряжения или векторное управление в разомкнутой системе.

Фиксированная форсировка напряжения подается при низких частотах вращения двигателя. При векторном управлении в разомкнутой системе магнитный поток поддерживается почти постоянным посредством непрерывного регулирования напряжения двигателя в зависимости от его нагрузки.

2. Замкнутая система с векторным управлением (с обратной связью по скорости двигателя).

Данный режим используется со стандартными асинхронными двигателями, оснащенными импульсным датчиком положения ротора. ПЧ непосредственно управляет скоростью двигателя. ПЧ и двигатель объединены в замкнутую систему, в которой используется датчик положения ротора двигателя для обеспечения обратной связи по скорости. В данном режиме ПЧ может управлять только одним электрическим двигателем.

3. Замкнутая исполнительная система управления (серворежим).

Данный режим используется только с бесщеточными двигателями переменного тока с постоянными магнитами на роторе, оснащенными датчиками обратной связи, имеющими коммутируемые выходные сигналы. ПЧ непосредственно управляет скоростью двигателя. ПЧ и двигатель объединены в замкнутую систему, в которой для обеспечения обратной связи используется датчик положения вала двигателя (например, резольвер или сервоэнкондер). В данном режиме ПЧ может управлять только одним электрическим двигателем.

4. Рекуперация.

Режиму рекуперации соответствует четвертый квадрант механической характеристики. Привод может работать в этом режиме, только когда он соединен с другим приводом (приводами), работающим в двигательном режиме.

Рекуперативный режим позволяет:

- подавать энергию от рекуперирующего привода другому приводу (приводам), который управляет двигателем по шине постоянного тока;
- возвращать энергию от рекуперирующего привода в сеть переменного тока вместо рассеивания ее в тормозных резисторах.

На рис. 2.2 приведен пульт управления преобразователя, содержащий двухстрочный дисплей, кнопки программирования и управления.

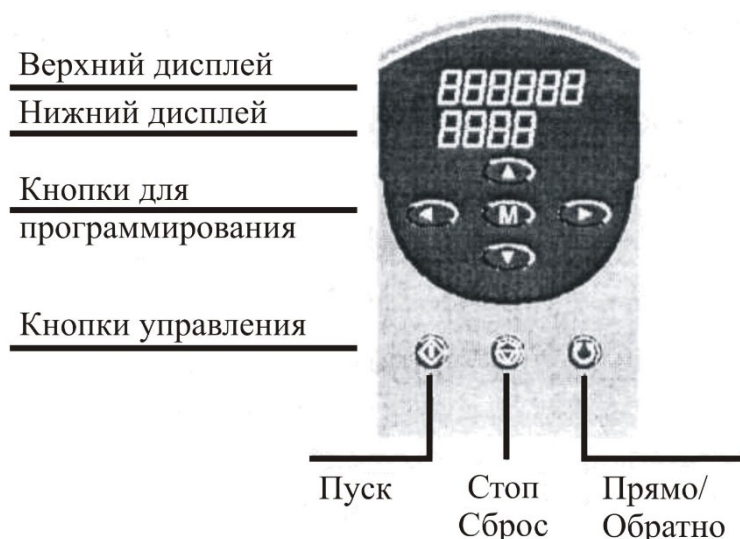


Рис. 2.2. Пульт управления преобразователя частоты Uni1401

Дисплей и панель с кнопками используются для следующих целей:

- считывания и изменения величин параметров программы, которые нужны для настройки, управления и наблюдения за электрическим приводом;

- индикации рабочего состояния привода;

- индикации кодов ошибок и отключений.

Дисплей имеет три режима работы (табл. 2.2):

- индикации (указывает состояние привода);

- параметрический (используется для выбора параметров, подлежащих редактированию);

- редактирования (используется для редактирования выбранных параметров).

Таблица 2.2

Режимы работы дисплея

Дисплей	Функция дисплея		
	Состояние	Параметры	Редактирование
Верхний	Значение параметра	Значение параметра	Значение параметра
Нижний	Состояние привода	Номер параметра	Номер параметра

Кнопки для программирования используются для следующих действий:

- изменения режима работы дисплея;

- выбора параметра для редактирования;

- редактирования выбранного параметра;

- сохранения новых значений параметров.

Функции кнопок для программирования:

«М» – изменение режима работы дисплея;

«▲» – выбор параметра; увеличение численного значения параметра;

«▼» – выбор параметра; уменьшение численного значения параметра;

«◀» – высвечивание номера параметра; выбор следующей левой цифры на дисплее; выбор другого меню;

«▶» – высвечивание номера параметра; выбор следующей правой цифры на дисплее; выбор другого меню.

Функции кнопок управления:

«Пуск» – запуск привода;

«Стоп-Сброс» – останов привода; возврат привода в исходное состояние после того, как он отключился; сохранение новых значений параметров;

«Прямо/Обратно» – изменение направления вращения двигателя.

Управление преобразователем может выполняться как от его кнопочной панели, так и от внешних коммутационных элементов.

Для внешнего управления режимами работы преобразователь имеет аналоговые и дискретные входы/выходы. В составе модуля к этим входам/выходам включены потенциометры RP1 и RP2 для изменения входных аналоговых сигналов, термистор R1, кнопка SB1 «Сброс», переключатели SA1 «Направление вращения» с тремя положениями, SA2 «Управление» и SA3 «Разрешение». Назначение потенциометров RP1 и RP2 может изменяться в зависимости от режима работы преобразователя. Клеммы XS8 и XS9 позволяют снимать аналоговые сигналы, пропорциональные скорости вращения двигателя и его моменту.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен преобразователь частоты?
2. Какие каталожные данные на асинхронный двигатель вводятся в ПЧ при подготовке его к работе?
3. Как производится пробный пуск привода от кнопочной панели?
4. Как производится пробный пуск привода при внешнем управлении?
5. Что такое макрос?
6. Что такое режим самонастройки преобразователя частоты Uni1401?
7. Как производится управление преобразователем частоты момента двигателя по макросу 4?

8. Какие функции позволяют реализовать макросы 1–5?
9. Какие режимы работы позволяет реализовать ПЧ UNIDRIVE?
10. Поясните, как реализован в ПЧ режим разомкнутой системы управления.
11. Объясните, как реализован в ПЧ режим замкнутой системы с векторным управлением.
12. Поясните, как реализован в ПЧ режим замкнутой исполнительной системы управления (серворежим).
13. Объясните, как реализован в ПЧ рекуперативный режим.
14. Для каких целей используются дисплей и панель с кнопками?
15. Какие режимы работы имеет дисплей?
16. Где находятся и для каких действий используются кнопки для программирования и управления?

Лабораторная работа № 3

Исследование разомкнутой системы управления «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Цель работы: изучение работы частотного преобразователя в разомкнутой системе управления электроприводом, снятие характеристик для основных режимов его работы.

Основные этапы работы

1. Ознакомиться с электрической сборочной схемой для экспериментальных исследований разомкнутой системы ПЧ-АД, устройством лабораторной установки и возможностями преобразователя частоты UNI1401.
2. На лабораторном стенде собрать электрическую цепь для исследования разомкнутой системы ПЧ-АД.
3. Исследовать режимы форсировки преобразователя.
4. Исследовать влияние отношения напряжение/частота (U/f) преобразователя частоты на характеристики разомкнутой системы управления.
5. Оформить отчет и сделать выводы по лабораторной работе.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:
 - 1.1. Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия [3, 4], настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:
 - ознакомиться с принципом работы разомкнутой системы ПЧ-АД;
 - изучить устройство универсальной лабораторной установки и модулей, применяемых в данной работе.
 - 1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории познакомиться с основными техническими характеристиками ПЧ и найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.
 - 1.3. Подготовить таблицы, необходимые при выполнении лабораторной работы.
2. Работа в лаборатории:

2.1. Для выполнения лабораторной работы рекомендуется предварительно выполнить ознакомительную работу с преобразователем UNIDRIVE (лабораторная работа № 2 «Исследование преобразователя частоты “UNIDRIVE”»).

2.2. Перед началом работы необходимо ознакомиться с расположением электрооборудования лабораторной установки и техникой безопасности. Работа выполняется в соответствии с электрической сборочной схемой, показанной на рис. 3.1. Для сборки электрической цепи разомкнутой системы управления необходимо выполнить соединения проводами между модулями, показанные на схеме жирными линиями.

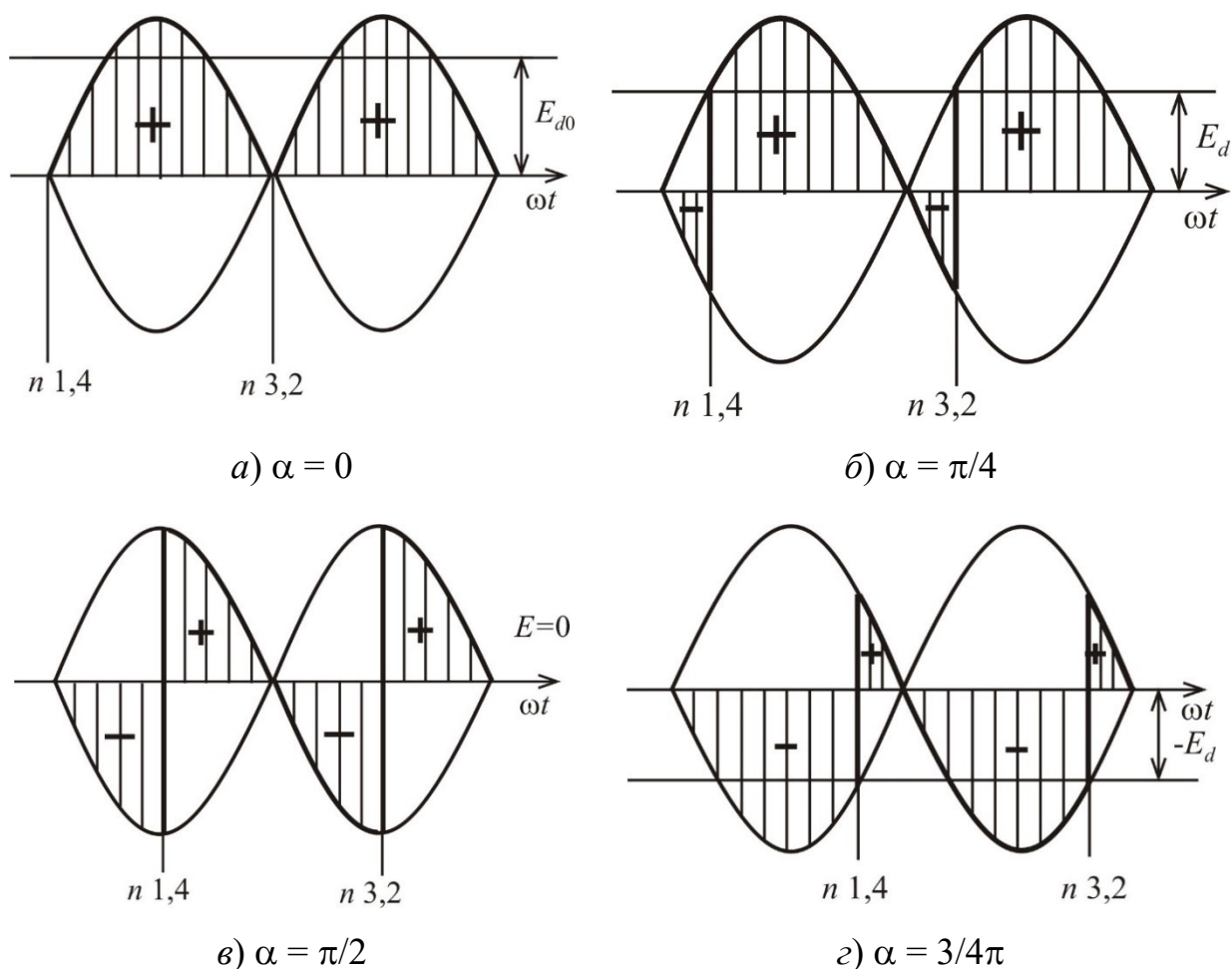


Рис. 3.1. Эпюры напряжений однофазного мостового тиристорного преобразователя при различных углах управления α

2.3. Настройка форсировки напряжения преобразователя частоты. Преобразователь имеет фиксированные и изменяемые характеристики U/f . Когда преобразователь работает на легко нагруженный двигатель (электропривода насосов и вентиляторов), желательно иметь пониженную мощность потерь, тогда используются изменяемые характеристики U/f .

Преобразователь частоты позволяет изменять величину форсировки по напряжению от 3 до 25 % от номинального напряжения питания асинхронного двигателя.

Настройку электрического привода необходимо начинать с подготовки ПЧ к работе в соответствии с п. 2.3, подготовки программного обеспечения к работе в соответствии с п. 2.4 и пробного пуска привода при внешнем управлении в соответствии с п. 2.6 лабораторной работы № 2.

Далее снимаются регулировочные характеристики системы в режиме форсировки напряжения. Для этого:

- занести в параметр 0.00 значение 149 (разрешение просмотра всех параметров);
- установить в параметр 0.07 значение «Fd»;
- установить значение «0» начальной частоты (параметр 0.01);
- установить значение форсировки напряжения в параметре 0,08 по указанию преподавателя (3–12 %);
- замкнуть тумблер SA1 модуля преобразователя частоты в положение «Вперед» или «Назад»;
- установить параметр 0.09 в значение «0», параметр 0.02 – в значение 60 Гц ($f_{\max} > 50$ Гц);
- перевести переключатель SA3 «Разрешение» модуля ПЧ в положение «1»;
- нажимать кнопку SB 1 «Сброс» до появления на индикаторе сообщения «run»;
- снять на холостом ходу регулировочные характеристики напряжения U (контролируется по экрану ПЧ в параметре 5.02), полного тока I (контролируется по экрану ПЧ в параметре 4.01), мощности P (контролируется по индикатору модуля измерителя мощности), частоты вращения n , изменяя частоту от $f_{\min}$ до $f_{\max}$ (результаты эксперимента занести в табл. 3.1);
- остановить преобразователь, переведя переключатель SA3 «Разрешение» в положение «0».

Таблица 3.1

Экспериментальные данные для первого исследования

f , Гц	U , В	I , А	P , Вт	n , об/мин

2.4. Исследование влияния динамического выбора отношения напряжение/частота в электрическом приводе ПЧ-АД выполняется в следующем порядке:

- установить параметр 0.08 в значение «0»;
- установить параметр 0.09 в значение «0» (динамическая настройка отсутствует);
- переключатель SA3 «Разрешение» модуля ПЧ перевести в положение «1»;
- несколько раз нажать на кнопку SB «1» «Сброс» до появления на индикаторе сообщения «run»;
- снять регулировочные характеристики напряжения U , полного тока I , активного тока статора I_a (контролируется по экрану ПЧ в параметре 4.02), мощности P и частоты вращения n двигателя в зависимости от сигнала задания по частоте при условии $U/f = \text{const}$ (при изменении частоты от $f_{\min}$ до $f_{\max}$), занести данные в табл. 3.2;
- установить параметр 0.09 в значение «1» (динамическая настройка включена);
- снять те же регулировочные характеристики при условии $U/f = \text{var}$, занести данные эксперимента в табл. 3.2;
- остановить преобразователь, переведя переключатель SA3 «Разрешение» в положение «0».

Таблица 3.2

Экспериментальные данные для второго исследования

f , Гц	U , В	I , А	I_a , А	P , Вт	n , об/мин	Примечание

3. Обработка экспериментальных данных:

3.1. По полученным экспериментальным данным п. 2.3 построить регулировочные характеристики системы управления, т.е. зависимости U , I , P , n как функции от частоты f . Оцените работу преобразователя частоты с форсировкой напряжения и без нее. Сделайте выводы.

3.2. По полученным экспериментальным данным п. 2.4 построить регулировочные характеристики напряжения U , полного тока I , активного тока статора I_a и частоты вращения n двигателя в зависимости от сигнала задания по частоте f при условии $U/f = \text{const}$ и $U/f = \text{var}$. Сделайте выводы.

3.3. Оформить отчет по лабораторной работе, включив все исследуемые схемы, таблицы с результатами экспериментов, графики и выводы.

Методические указания

Разомкнутая система управления электрическим приводом реализуется без обратной связи по скорости двигателя. В этом режиме ПЧ по-

дает на двигатель переменный ток, частота которого изменяется пользователем, а напряжение – из зависимости $U(f)$, представленной на рис. 3.2. Скорость двигателя определяется выходной частотой ПЧ, а скольжение – механической нагрузкой. Таким образом, это регулирование является скалярным, т.е. обеспечивается закон $U/f = \text{const}$.

Форсировка напряжения питания производится при низких частотах вращения двигателя для создания начального пускового момента.

При векторном управлении в разомкнутой системе магнитный поток двигателя (ток намагничивания) поддерживается почти постоянным посредством непрерывного регулирования напряжения двигателя в зависимости от нагрузки. Данный режим регулируется значением параметра 0,09 (динамический выбор характеристики U/f), принимающим значения:

«0» – для управления двигателем используется фиксированная характеристика напряжение/частота;

«1» – в этом случае характеристика U/f будет автоматически изменяться, в результате чего при снижении тока двигателя пропорционально уменьшается напряжение на статоре двигателя.

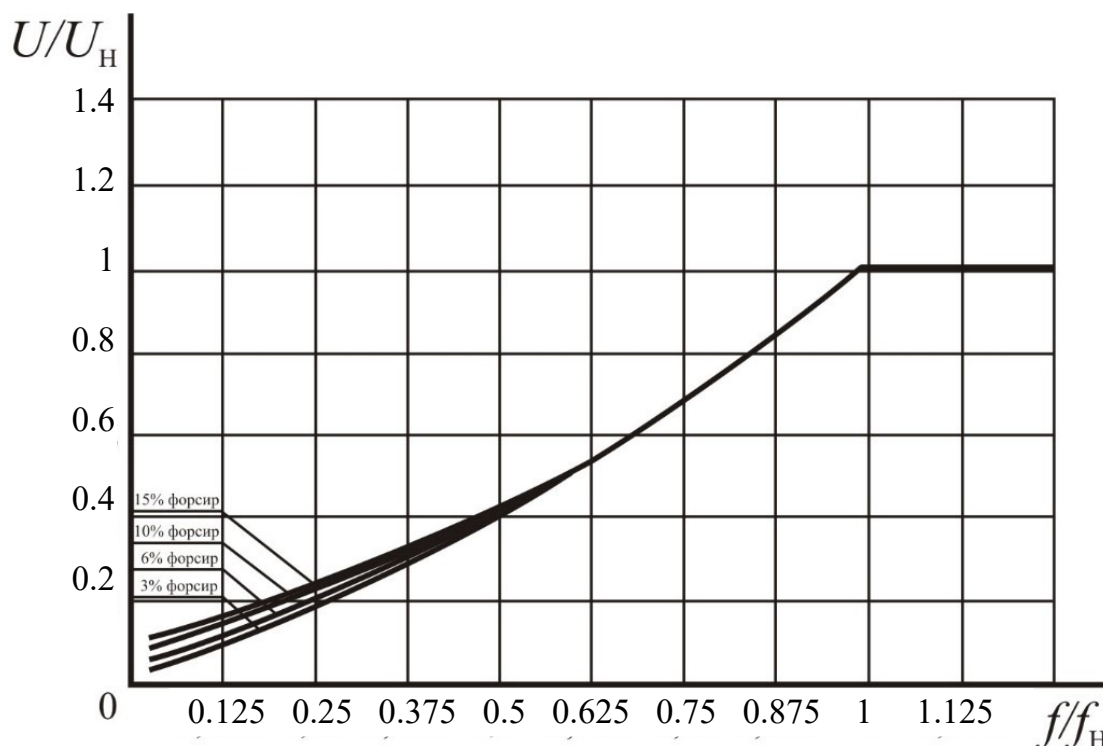


Рис. 3.2. Характеристика изменения напряжения на двигателе при изменении частоты

Рисунок 3.3 показывает изменение наклона зависимости U/f , когда уменьшается ток двигателя.

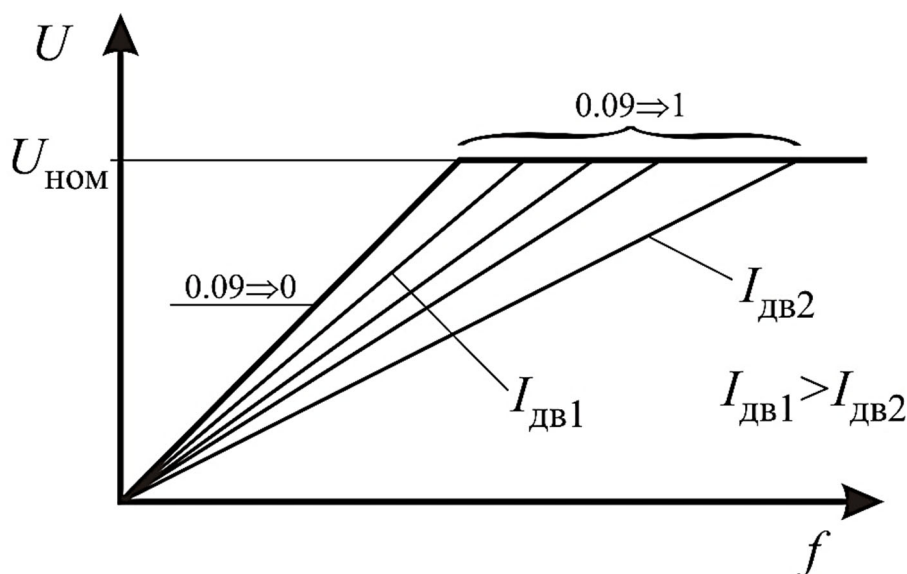


Рис. 3.3. Фиксированная и изменяемые характеристики напряжение/частота

Данный режим используется в тех приводах, в которых нагрузка может изменяться в широких пределах. Автоматический выбор отношения U/f снижает энергопотребление и акустический шум двигателя при малых нагрузках.

Контрольные вопросы

1. Какие способы регулирования скорости вращения асинхронного двигателя (кроме частотного регулирования) существуют?
2. В чем их преимущества и недостатки?
3. В чем достоинства частотного регулирования скорости двигателя переменного тока?
4. В чем недостатки частотного регулирования скорости двигателя переменного тока?
5. Что исследуется на различных этапах данной лабораторной работы?
6. Каковы основные характеристики модуля ПЧ и асинхронного двигателя, исследуемых в лабораторной работе?
7. Поясните принцип действия разомкнутой системы ПЧ-АД.
8. Что такое режим форсировки напряжения питания двигателя?
9. Для каких целей используется режим форсировки напряжения питания двигателя?
10. При каких значениях форсировки напряжения (параметр 0.08) проводилось исследование в лабораторной работе?

11. В каком диапазоне изменяется частота на выходе частотного преобразователя в режиме форсировки двигателя при выполнении лабораторной работы?

12. Сравните работу преобразователя частоты с форсировкой напряжения и без нее по экспериментальным данным.

13. Как проводится исследование влияния динамического выбора отношения напряжение-частота в электрическом приводе ПЧ-АД?

14. Чем отличаются полученные зависимости U , I , I_a , P и n от частоты при условиях $U/f = \text{const}$ и $U/f = \text{var}$?

15. В чем различие скалярного и векторного регулирования электропривода?

16. По какому признаку исследованную систему управления ПЧ-АД можно отнести к разомкнутой?

Лабораторная работа № 4

Исследование системы регулирования скорости двигателя постоянного тока

Цель работы: изучение характеристик тиристорного электропривода постоянного тока.

Основные этапы работы

1. Изучить схему для экспериментального исследования электропривода постоянного тока, назначение и характеристики модулей лабораторной установки, используемых в работе.

2. В лаборатории собрать электрическую цепь для экспериментального исследования электропривода двигателя постоянного тока (ДПТ). Провести пробное включение системы, проверить функционирование ее элементов (тиристорного и частотного преобразователей, задатчика интенсивности).

3. Снять регулировочные характеристики системы электропривода ДПТ на холостом ходу.

4. Снять регулировочные характеристики системы электропривода ДПТ при заданном моменте.

5. Провести обработку экспериментальных данных, составить отчет и сделать заключение по работе.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия [3, 4], настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- ознакомиться с назначением системы регулирования скорости ДПТ и принципом действия тиристорного электропривода;
- изучить устройство лабораторной установки и модулей, применяемых в данной работе.

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории ответить на контрольные вопросы настоящих методических указаний.

1.3. Подготовить таблицы, необходимые при выполнении лабораторной работы.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Сборка электрической цепи выполняется в соответствии с рис. 4.1. На приведенной электрической схеме устанавливаемые перемычки изображены жирными линиями.

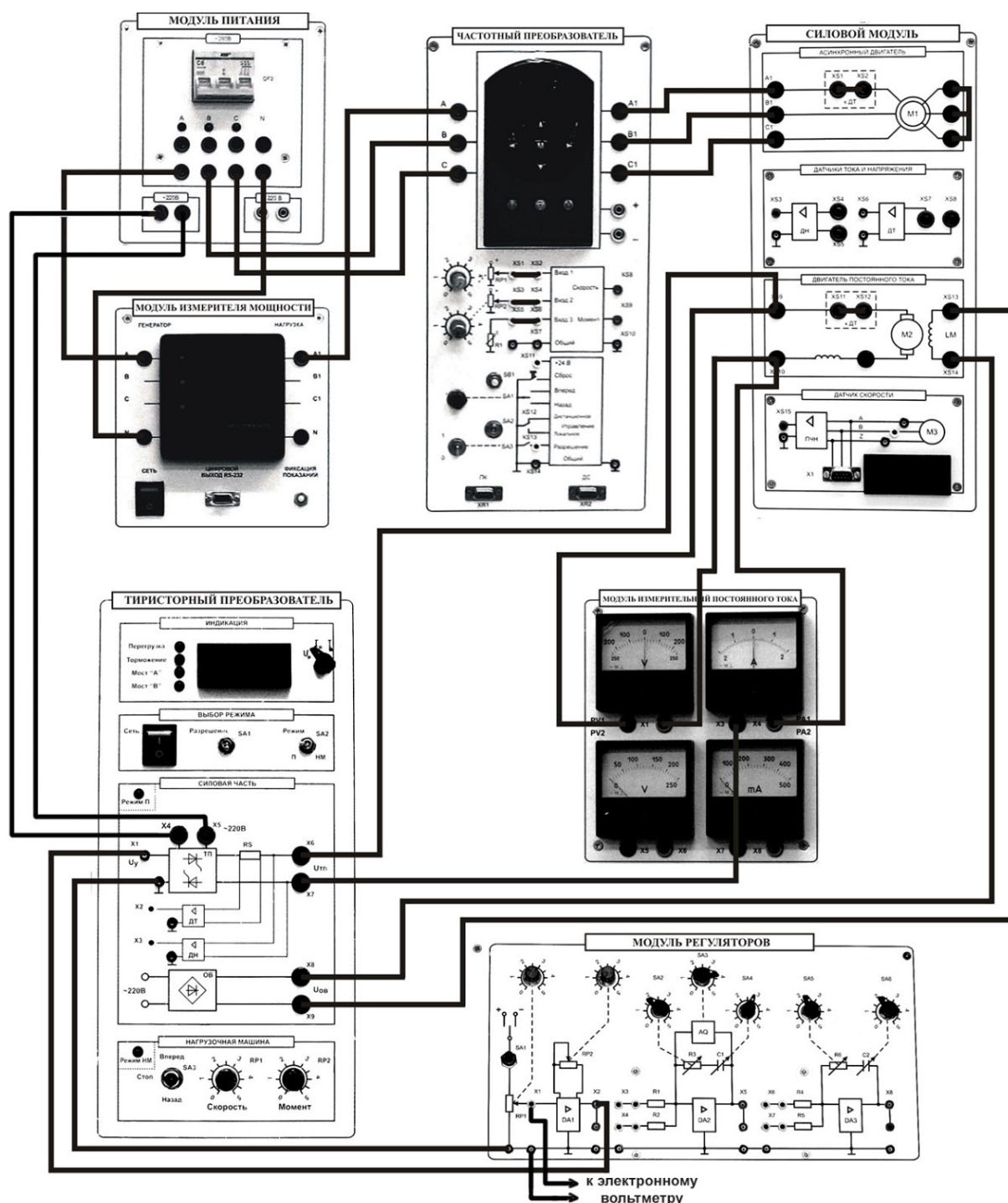


Рис. 4.1. Схема электрических соединений модулей стенда для исследования системы подчиненного регулирования скорости двигателя постоянного тока

Перед подачей электрического питания на стенд необходимо:

– потенциометр RP1 модуля регуляторов поставить на минимум снимаемого напряжения, потенциометр RP2 – на минимум темпа изменения напряжения на выходе задатчика интенсивности (ЗИ), переключатель SA1 – в отключенное среднее положение;

– переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя установить в положение выключено, переключатель SA2 «Режим» – в положение «П»;

– потенциометры RP1 и RP2 модуля частотного преобразователя поставить в положение «0», переключатель SA1 – в среднее положение, переключатель SA3 «Разрешение» – в положение «0».

2.2. Опробование системы регулирования рекомендуется начать с проверки работы тиристорного преобразователя, ДПТ и ЗИ. Для этого необходимо произвести следующие операции:

– включить автомат QF1 модуля питания стенда. При этом электрическое напряжение подается на все измерительные и усилительные устройства лабораторного стенда;

– включить автомат QF2 модуля питания. Это обеспечивает подачу напряжения на тиристорный и частотный преобразователи;

– включить переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя. Переключатель SA1 модуля тиристорного преобразователя перевести в положение «Разрешение». Установить переключатель SA1 модуля регуляторов, например, в положение «+», и перемещением движка потенциометра RP1 повышать напряжение управления U_y , а следовательно, и выходного напряжения тиристорного преобразователя $U_{ТП}$. При переключении переключателя SA1 модуля регуляторов в положение «–» должен происходить реверс ДПТ. По характеру изменения $U_{ТП}$ убедиться в работоспособности ЗИ. Произвести реверс ДПТ при разных положениях движка потенциометра RP2, определяющего темп изменения напряжения на выходе ЗИ. Запомнить направление движения ДПТ при разной полярности напряжения на входе ЗИ (зависит от положения переключателя SA1).

2.3. Снять регулировочные характеристики разомкнутой системы регулирования на холостом ходу. Изменяя потенциометром RP1 напряжение на входе ЗИ, экспериментально снять следующие характеристики:

– частоты вращения ДПТ $n = f(U_{ВХ})$;

– тока якоря ДПТ $I_{я} = f(U_{ВХ})$;

– напряжения на якоре ДПТ $U_{я} = f(U_{ВХ})$.

Результаты эксперимента занести в табл. 4.1.

По окончании эксперимента выключить тиристорный преобразователь. Отключить автомат QF2. Отключить (поставить в среднее положение) переключатель SA1 и поставить на минимум снимаемого напряжения потенциометр RP1 ЗИ.

Таблица 4.1

**Регулировочные характеристики
разомкнутой системы регулирования на холостом ходу**

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$I_{\text{я}}, \text{А}$	$U_{\text{я}}, \text{В}$	$n, \text{об/мин}$

2.4. Проверить функционирование частотного преобразователя. Произвести подготовку частотного преобразователя к работе по п. 2.3 лабораторной работы № 2. Перевести частотный преобразователь в регулирование момента по макросу 4. Для этого:

а) установить параметр 0.00, ввести значение 2004 и нажать кнопку «М» для записи его в память. После этого преобразователь будет переведен в режим макроса 4 «Регулирование момента»;

б) переключателем SA2 выбрать управление «Дистанционное», а переключателем SA1 – направление вращения, встречное направлению вращения ДПТ;

в) переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;

г) нажимать кнопку SB1 «Сброс» до появления сообщения «run»;

д) потенциометром RP1 задать момент двигателя 50–70 % от номинального (задаваемое значение записано в параметре 0,25); потенциометром RP2 задать скорость вращения двигателя 1000 об/мин (задаваемое значение записано в параметре 0.10). Двигатель разгоняется до заданной скорости вращения, на валу обеспечивается заданный момент.

2.5. Регулировочные характеристики настроенной системы электропривода ДПТ при заданной нагрузке снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки $M_c = \text{const}$. Изменяя потенциометром RP1 напряжение на входе ЗИ, экспериментально снять следующие характеристики:

– частоты вращения ДПТ $n = f(U_{\text{вх}})$;

– тока якоря ДПТ $I_{\text{я}} = f(U_{\text{вх}})$;

– напряжения на якоре ДПТ $U_{\text{я}} = f(U_{\text{вх}})$;

– тока и мощности, потребляемых АД $I_{\text{ад}} = f(U_{\text{вх}})$, $P_{\text{ад}} = f(U_{\text{вх}})$.

Результаты эксперимента занести в табл. 4.2.

**Регулировочные характеристики
настроенной системы электропривода**

$U_{вх}, В$	$I_{я}, А$	$U_{я}, В$	$I_{ад}, В$	$P_{ад}, В$	$n, об/мин$

Нагрузка задается асинхронным двигателем. АД включается с помощью переключателя SA1 преобразователя частоты на направление вращения навстречу вращению ДПТ. Переключатель SA2 – в положение «Дистанционное», а величина момента устанавливается потенциометром RP1. Значение M_c задается преподавателем и контролируется по индикатору ПЧ ($M_{ст} \approx 0,5-0,7 M_H$).

3. Обработка экспериментальных данных:

3.1. По полученным экспериментальным данным п. 2.3 построить графики зависимостей: $I_{я} = f(U_{вх})$, $U_{я} = f(U_{вх})$, $n = f(U_{вх})$ на холостом ходу. Сделать выводы.

3.2. По полученным экспериментальным данным п. 2.5 построить графики зависимостей: $I_{я} = f(U_{вх})$, $U_{я} = f(U_{вх})$, $n = f(U_{вх})$, $I_{ад} = f(U_{вх})$, $P_{ад} = f(U_{вх})$ при заданном моменте. Сделать выводы.

3.3. Оформить отчет, куда включить все исследуемые схемы, таблицы с результатами экспериментов, графики и выводы.

Методические указания

Данная лабораторная работа выполняется на универсальной установке, в которой используются только те модули, которые показаны на рис. 4.1.

Модуль регуляторов (МР), используемый для реализации системы подчиненного регулирования, включает три операционных усилителя DA1, DA2 и DA3. На DA1 реализован задатчик интенсивности ЗИ. Потенциометром RP1 изменяется уровень напряжения на выходе ЗИ, потенциометром RP2 – темп изменения этого напряжения. Трехпозиционный переключатель SA1 обеспечивает изменение полярности напряжения на входе ЗИ и отключение питания RP1.

Выходное напряжение задатчика интенсивности является напряжением управления U_y тиристорного преобразователя ТП. Напряжение тиристорного преобразователя $U_{ТП}$ подается на электродвигатель М2 постоянного тока (ДПТ) силового модуля. Выпрямитель ОВ служит для питания обмотки возбуждения LM двигателя ДПТ. На модуле ТП име-

ется индикаторное устройство для индикации напряжения $U_{\text{ТП}}$, тока якоря $I_{\text{я}}$, тока возбуждения $I_{\text{в}}$.

В данной работе ТП используется исключительно как преобразователь, поэтому его переключатель SA2 должен быть установлен в положение «П». При срабатывании защиты ТП следует отключить SA1 и тумблер «Сеть» и вновь включить тумблер «Сеть» и SA1.

Силовой модуль (силовой агрегат), кроме упомянутого ДПТ, включает импульсный датчик МЗ и асинхронный электродвигатель (АД) М1.

В данной работе нагружение ДПТ осуществляется АД силового агрегата. АД получает питание от модуля частотного преобразователя (ЧП). ЧП должен работать в макросе 4 в режиме задания скорости АД (переключатель SA2 – в положении «Локальное», задание скорости – потенциометром RP2) или в режиме задания момента (переключатель SA2 – в положении «Дистанционное», задание момента – потенциометром RP1).

Контрольные вопросы

1. Какие модули и агрегат используются в данной лабораторной работе?
2. Какие характеристики тиристорного электропривода постоянного тока изучались в данной лабораторной работе?
3. С чего начинается опробование собранной системы регулирования?
4. Какие операции для этого необходимо выполнить?
5. Как осуществляется перевод ПЧ в регулирование момента по макросу 4?
6. В каком диапазоне изменяется величина $U_{\text{вх}}$ на входе задатчика интенсивности в данной работе?
7. В каких пределах изменяется величина $U_{\text{я}}$ ДПТ на холостом ходу и при заданной нагрузке?
8. Как изменяется частота вращения ДПТ на холостом ходу и при заданной нагрузке?
9. Проведите сравнительный анализ полученных экспериментальных зависимостей ТП-ДПТ на холостом ходу и при заданном моменте.
10. Каков принцип регулирования среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя с импульсно-фазовым управлением?
11. Что из себя представляет модуль регуляторов и какой из регуляторов используется в данной работе?
12. Как используется в данной работе тиристорный преобразователь?

13. Что используется для питания обмотки возбуждения ДПТ?

14. С помощью какого прибора в лабораторной работе снимаются показания частоты вращения ДПТ, тока якоря ДПТ и напряжения на якоре ДПТ?

15. С помощью какого прибора в лабораторной работе снимаются показания тока и мощности, потребляемых АД?

16. Как с помощью показаний приборов (и каких) можно узнать, что привод с АД вращается навстречу (по направлению) вращению привода ДПТ?

Список литературы

1. Лабораторный комплекс «Электрические машины». Техническое описание. Челябинск : Росучприбор, 2005. 27 с.
2. Электрические машины и основы электропривода : метод. указания к проведению лаб. работ. Челябинск : ЮУрГУ, 2004. 127 с.
3. Онищенко Г. Б. Теория электропривода : учебник. М. : ИНФРА-М, 2015. 294 с.
4. Ильинский Н. Ф. Основы электропривода : учебник. М., 2007.
5. Ашанин В. Н., Медведик Ю. Т., Савельев А. М. Исследование электрического привода : метод. указания к лаб. работам. Пенза : Изд-во ПГУ, 2009.
6. Статья в Википедии. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 09.08.2024).

Паспортные и расчетные данные электрических машин

Таблица П.1

Паспортные данные машины постоянного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	ПЛ-072
Мощность, Вт	180
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В	220
Номинальное напряжение питания обмотки возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальный ток якоря, А	1,3
КПД	0,63
Масса, кг	7,65
Сопротивление обмотки якоря $R_{я,20^{\circ}\text{C}}$ (расчетное значение), Ом	17,5
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{ов,20^{\circ}\text{C}}$ (расчет, значение), Ом	820
Механические потери, $P_{\text{мех ДПТ}}$, Вт	15

Таблица П.2

Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с фазным/короткозамкнутым ротором

Наименование параметра	Значение
Тип	AIS71BY3/AIP63B4
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, ΔY , В	380
Номинальная частота вращения, об/мин	1370
Номинальный ток фазы статора, А	1,18
$\cos\varphi$	0,7
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $R_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Механические потери $P_{\text{мех АД}}$, Вт	11

Учебное издание

Исследование электрических приводов

Составители :

Ашанин Василий Николаевич,
Исаев Сергей Геннадьевич,
Савельев Алексей Михайлович,
Чапаев Вячеслав Сергеевич

Редактор *Н. А. Сидельникова*
Технический редактор *С. В. Денисова*
Компьютерная верстка *С. В. Денисовой*

Подписано в печать 18.04.2025.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 2,79.
Тираж 30. Заказ № 171.

Издательство ПГУ
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru

Вниманию авторов!

Издательство ПГУ выпускает учебную, научную и художественную литературу, презентационную и акцидентную продукцию, а также полноцветные юбилейные и мемориальные издания в соответствии с ГОСТ 7.60–2003.

Издательство ПГУ принимает к изданию рукописи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий **2003 и выше**. Формат – А4, основной шрифт – Times New Roman, 14–16 pt через одинарный интервал (минимальный размер шрифта в таблицах и сносках – 12,5 pt). Тип файла в электронном виде – doc, docx.

Работа должна содержать индекс УДК, аннотацию.

Аннотация (ГОСТ 7.86–2003, ГОСТ 7.9–1995) включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели работы и ее результаты. В аннотации указывают, что нового несет в себе данный документ в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению. Аннотация может включать сведения о достоинствах произведения. Текст аннотации начинают фразой, в которой сформулирована главная тема документа. Заканчивается аннотация читательским адресом.

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте после ссылки на них (растровые рисунки предоставляются в виде отдельных файлов в формате jpg, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt. Рисунки должны быть доступны для правки!). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями, на все рисунки и таблицы в тексте должны быть ссылки.

Формулы в тексте выполняются только в редакторе формул **MathType версия 5.0** и выше. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования необходимо соблюдать и в рисунках.

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. Требования к оформлению списка литературы на русские и иностранные источники (ГОСТ Р 7.0.5–2008): для книг – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц; для журнальных статей, сборников трудов – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, страницы; для материалов конференций – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, контактные телефоны.

Контакты Издательства ПГУ: (8412) 66-60-49, 66-67-



