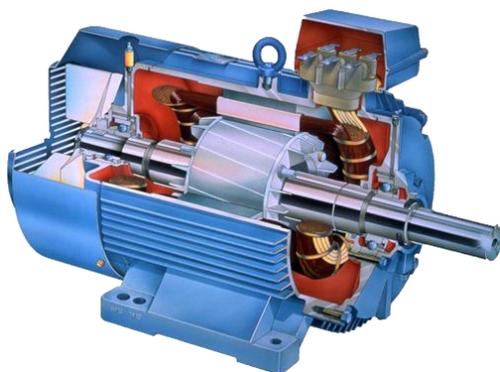


# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

*Лабораторный практикум*

Часть 1



Минск  
БНТУ  
2012

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных  
установок и технологических комплексов»

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум  
для студентов специальности  
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

В 3 частях

Часть 1

СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО  
РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 621.–83:681.51

ББК 31.291

С 40

Составитель *Н.Н. Михеев*

Рецензент *Д.С. Карпович*

Системы управления электроприводами: лабораторный практикум для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»: в 3 ч. / сост. Н.Н. Михеев. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 1: Системы логического релейно-контакторного управления. – 94 с.

В лабораторном практикуме приводятся описания лабораторных работ по релейно-контакторному управлению электроприводами, контрольные вопросы и индивидуальные задания к каждой лабораторной работе. Даются теоретические пояснения и расчетные соотношения. Введены дополнительные лабораторные работы по самостоятельной разработке студентом системы управления с заданными свойствами.

ISBN 978-985-525-717-3 (Ч. 1)  
ISBN 978-985-525-718-0

© БНТУ, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ</u> .....	5
<u>ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЛОГИЧЕСКОМУ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ</u> .....	6
<u>Работа 1. Реверсивное управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости</u> .....	6
<u>Работа 1а. Реверсивное колебательное управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости</u> .....	13
<u>Работа 2. Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием командоконтроллера</u> .....	14
<u>Работа 2а. Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием трех положений командоконтроллера</u> .....	23
<u>Работа 2б. Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием кнопок управления</u> .....	24
<u>Работа 3. Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени</u> .....	25
<u>Работа 3а. Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим трехступенчатым торможением на останов</u> .....	31
<u>Работа 3б. Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим двухступенчатым торможением на останов</u> .....	32
<u>Работа 4. Управление двигателем постоянного тока по принципу времени</u> .....	33
<u>Работа 4а. Управление пуском двигателя постоянного тока по принципу времени с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове</u> .....	40

<u>Работа 4б.</u> Управление пуском двигателя постоянного тока по принципу времени и динамическим торможением в две ступени при останове .....	41
--	----

<u>Работа 5.</u> Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости. ....	42
--	----

<u>Работа 5а.</u> Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове.....	48
--	----

<u>Работа 5б.</u> Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости и динамическим торможением в две ступени при останове .....	48
---	----

<u>Работа 6.</u> Реверсивное управление двигателем постоянного тока по принципу тока с помощью командоконтроллера.....	50
--	----

<u>Работа 6а.</u> Реверсивное управление двигателем постоянного тока по принципу тока с использованием трех положений командоконтроллера .....	59
--	----

<u>Работа 7.</u> Реверсивное управление асинхронным однофазным конденсаторным двигателем с помощью симисторного пускателя .....	60
---	----

<u>ЛИТЕРАТУРА</u> .....	65
-------------------------	----

<u>ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ</u> .....	65
---	----

1. <u>Принципы управления электроприводами</u> .....	66
--	----

2. <u>Управление по принципу времени</u> .....	67
--	----

3. <u>Управление по принципу скорости</u> .....	78
---	----

4. <u>Управление по принципу тока</u> .....	85
---	----

5. <u>Главные цепи релейно-контакторных систем автоматического управления</u> .....	87
---	----

6. Асинхронные однофазные конденсаторные двигатели .....	89
--	----

7. Схемы соединений (Э4) .....	91
--------------------------------	----

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее учебное пособие предназначено в качестве руководства к проведению лабораторных работ по курсу «Системы управление электроприводами» для студентов специальности.

Лабораторные работы делятся на два цикла. В первом цикле предусматриваются работы, связанные с изучением разомкнутых систем релейно-контакторного управления электроприводами постоянного и переменного тока. Лабораторные работы второго цикла посвящены изучению замкнутых систем автоматического управления электроприводами.

В данном руководстве приводится описание лабораторных работ первого цикла и даются методические указания к выполнению этих работ. Цикл состоит из семи лабораторных работ по автоматическому управлению пуском, торможением и реверсом двигателей постоянного и переменного тока с помощью релейно-контакторных систем.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЛОГИЧЕСКОМУ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

**Работа 1.** Реверсивное управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы реверсивного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости.

### Описание лабораторной работы

Основными конструктивными частями РКС (рис. 1.1) являются ротор с постоянными магнитами 1 и статор 2 с короткозамкнутой обмоткой типа «беличьей клетки» 3. Статор устанавливается на подшипники и может поворачиваться на ограниченный угол. Ротор РКС соединяется муфтой с ротором двигателя. При вращении роторов в короткозамкнутой обмотке статора РКС наводится ЭДС, под действием которой протекает ток. При взаимодействии тока статора с магнитным полем вращающегося ротора возникает электромагнитный момент, который поворачивает статор РКС в направлении вращения ротора двигателя. Со статором РКС жёстко связан рычаг 4, который при повороте статора замыкает один из контактов (например 5). В случае вращения ротора в другую сторону рычаг замкнёт второй контакт (соответственно 6). При скорости вращения ротора, составляющей 10–15% от номинальной, момент оказывается мал, и рычаг не может замкнуть соответствующий контакт. Реле контроля скорости контролирует направление вращения (реле контроля направления вращения) и его можно представить как трёхпозиционное реле с зоной нечувствительности 2 а (рис. 1.2).

Изучаемые схемы (рис. 1.3а, б) обеспечивают реверсивное управление двигателем. Рассматриваются два варианта схем управления: без запоминания команды «Стоп» (рис. 1.3а) и с запоминания команды «Стоп» (рис. 1.3б) .

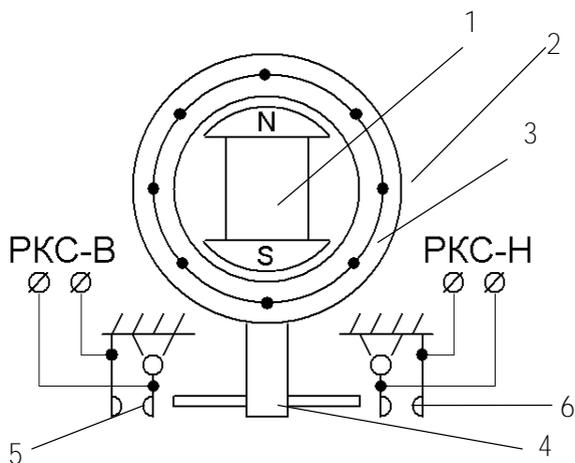


Рис. 1.1. Реле контроля скорости

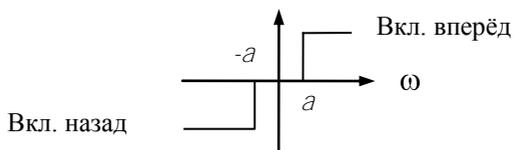


Рис. 1.2. Характеристика РКС

В схеме рис. 1.3а замыкающие контакты реле РКС включены последовательно с замыкающим контактом кнопки КнС, при нажатии которой в зависимости от направления вращения двигателя включается контактор КН по цепи КнС, РКС-В(если перед этим двигатель работал в направлении «Вперед») или КВ по цепи КнС, РКС-Н (если перед этим двигатель работал в направлении «Назад»). При этом при нажатой кнопке КнС осуществляется торможение противовключением, продолжающееся до тех пор, пока не разомкнутся контакты реле РКС-Н или РКС-В. Если же в период торможения кнопка КнС будет быстро отпущена, возможно включение катушки КН или КВ через замыкющие контакты КН или КВ, т.е. помимо контактов РКС. Тогда после торможения двигатель начнет разгон в противоположном направлении.

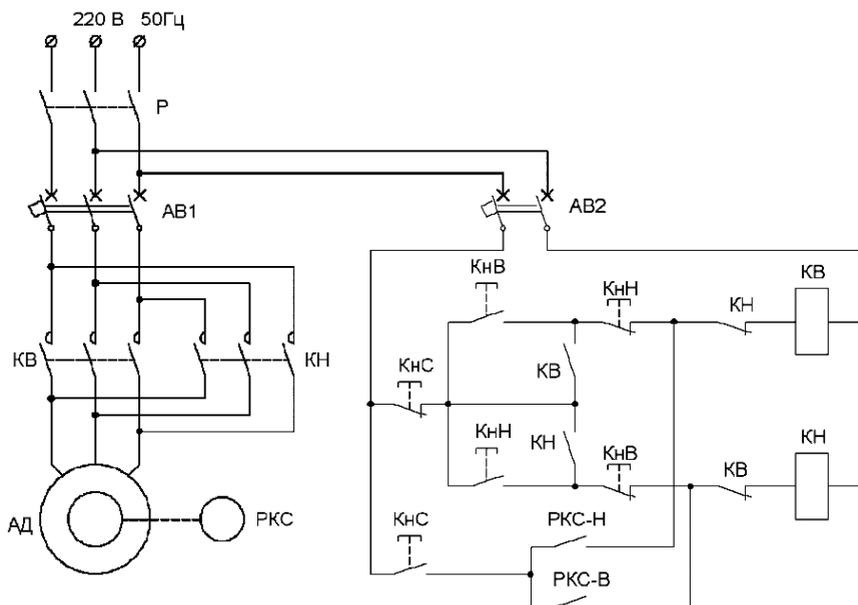


Рис. 1.3а. Схема реверсивного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости, без запоминания команды «Стоп»

В схеме с запоминания команды «Стоп» (рис. 1.3б) введено промежуточное реле РП. При подаче команды на торможение, реле РП исключает возможность питания контакторов через размыкающий контакт кнопки КНС последовательно включенным размыкающим контактом РП. Замыкающий контакт реле РП подает питание на один из контакторов через соответствующий контакт РКС-Н или РКС-В, в зависимости от предыдущего направления вращения и блокирует замыкающий контакт кнопки КНС в цепи катушки РП после включения одного из контакторов. По окончании процесса торможения реле РКС размыкает соответствующий контакт, контактор отключается, цепь питания катушки реле РП разрывается контактом КН или КВ, реле РП отключается и размыкающим контактом подготавливает схему к дальнейшей работе.

Защита от коротких замыканий в главных цепях и в цепях управления в схеме осуществляется с помощью автоматов А1 и А2.

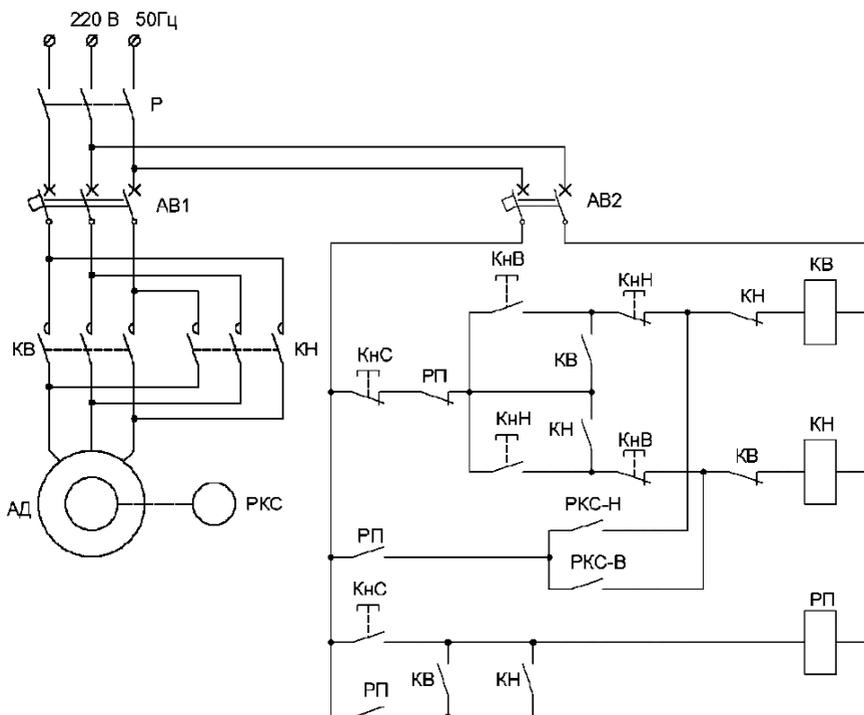


Рис. 1.36. Схема реверсивного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости с запоминанием команды «Стоп»

### Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис.1.3а и опробовать ее в работе.
4. Собрать схему согласно рис.1.3б и опробовать ее в работе.
5. Сравнить работу обеих схем.
6. Ознакомиться с работой аппаратов в обеих схемах.
7. Изучить устройство и принцип действия реле РКС.

## Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления, определение параметров электропривода;
4. краткое описание и анализ работы схем управления с соответствующими диаграммами и графиками;
5. индивидуальное задание.

## Контрольные вопросы

1. Пояснить работу схемы при включении контакта РКС-Н в цепь катушки контактора КН.
2. Пояснить работу схемы, если в цепь самоблокировки контактора КВ будет включен размыкающий блок-контакт КВ вместо замыкающего.
3. Пояснить работу схемы, если в цепь самоблокировки контактора КН будет включен размыкающий блок-контакт КН вместо замыкающего.
4. Как настроить схему для более точного улавливания момента остановки двигателя?
5. Пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
6. Пояснить принцип действия индукционного реле контроля скорости РКС.
7. Пояснить работу схемы, если поменять местами контакты РКС-Н и РКС-В ..

## Индивидуальные задания

1. Построить механические характеристики для прямого и обратного включения двигателя при напряжении сети: а) 380В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск «Вперед», пуск «Назад», торможение на останов, реверс «Вперед-Назад».
2. Построить электромеханические характеристики для прямого и обратного включения двигателя при напряжении сети: а) 380 В;

б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск «Вперед», пуск «Назад», торможение на останов, реверс.

3. Построить автоматный граф переходов и выходов для первой схемы (рис. 1.3а).

4. Построить автоматный граф переходов и выходов для второй схемы (рис. 1.3б).

5. Описать работу первой схемы (рис. 1.3а), если переставить местами контакты РКС-Н и РКС-В. Построить при этом условия автоматный граф переходов и выходов.

6. Описать работу для второй схемы (рис. 1.3б), если переставить местами контакты РКС-Н и РКС-В. Построить при этом условия автоматный граф переходов и выходов.

7. Записать логические уравнения включения контакторов КВ и КН для первой схемы (рис. 1.3а).

8. Записать логические уравнения включения контакторов КВ, КН и реле РП для второй схемы (рис. 1.3б).

9. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

10. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

11. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

12. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн; е-0.0 Мн).

13. Рассчитать и построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ).

14. Рассчитать и построить диаграммы электропривода при торможении противовключением ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ).

15. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при моменте инерции электропривода от расчетного значения (а-1.1 Jp; б-1.05 Jp; в-0.95 Jp; г-0.9 Jp; д-0.85 Jp).

16. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

17. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

18. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при моменте инерции электропривода от расчетного значения (а-1.1 Jr; б-1.05 Jr; в-0.95 Jr; г-0.9 Jr; д-0.85 Jr).

19. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

20. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн; е-0.0 Мн) и при моменте инерции электропривода от расчетного значения (а-1.1 Jr; б-1.05 Jr; в-0.95 Jr; г-0.9 Jr; д-0.85 Jr).

21. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

22. По принципиальной схеме (рис. 1.3а) составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

23. По принципиальной схеме (рис. 1.3б) составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

24. По принципиальной схеме (рис. 1.3а) составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропри-

вода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 1а.** Реверсивное колебательное управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с использованием реле контроля скорости

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы реверсивного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, обеспечивающей автоматическое колебательное движение «Вперед- Назад- Вперед- Назад-----».

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 1.3а, б.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему реверсивного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, обеспечивающей автоматическое колебательное движение «Вперед- Назад- Вперед- Назад-----».
2. Собрать схему и опробовать ее в работе.
3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

#### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

#### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 2.** Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием командоконтроллера

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с применением командоконтроллера, торможения противовключением при реверсе по принципу тока.

#### Описание лабораторной работы

Изучаемая схема (рис. 2.1а, б) обеспечивает управление двигателем с двумя ступенями пускового сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и ступенью противовключения РП. Управление пуском осуществляется по принципу времени, управление торможением (противовключение) при реверсе – по принципу тока. Схема допускает продолжительную работу на любой из ступеней ускорения как в одном, так и в другом направлении. Для этого пусковые сопротивления выбраны на длительный режим работы.

Управление работой двигателя осуществляется с помощью командоконтроллера КК, имеющего по три фиксированных положения «Назад», «Вперед» и нулевое положение «0» (табл. 2.1). Соответствующие положения КК обозначены на схеме вертикальными пунктирными линиями, контакты командоконтроллера – КК1 – КК6. Контакты замкнуты в соответствующем положении командоконтроллера, если они отмечены зачерненным кружком.

Если командоконтроллер находится в нулевом положении, то в схеме управления получает питание только реле РН, осуществляющее нулевую защиту, через контакт которого подается напряжение на схему управления. Работа схемы всегда должна начинаться из нулевого положения КК, чем обеспечивается необходимая очердность срабатывания аппаратов.

При переводе командоконтроллера в положение I в направлении «Вперед» замыкается контакт ККЗ в цепи контактора КВ, который своими силовыми контактами КВ подключает обмотку статора двигателя к сети. Последний начинает разгоняться в направлении «Вперед» с полностью введенным сопротивлением в цепь ротора. Одновременно блок-контакт КВ включает блокировочное реле РБ1, а через контакт РБ1 включается контактор противовключения П. Таким образом, контактор П с первого же момента пуска шунтирует ступень противовключения. Реле РП, включенное в цепь ротора, настроено на ток втягивания, значение которого больше пускового тока двигателя, и поэтому в процессе пуска оно не включается и не оказывает влияния на работу схемы. При включении контактора П блок-контакт последнего отключает реле ускорения РУ1, и оно начинает отсчитывать выдержку времени, по истечении которой замыкает свой размыкающий контакт в цепи контактора У1. При замыкании контакта КК-5 включается контактор У1 и далее, аналогично предыдущему отключается реле РУ2 и включается контакт У2. По мере включения контакторов У1, У2 шунтируются пусковые ступени в цепи ротора, и двигатель, переходя с одной искусственной характеристики на другую, выходит на естественную характеристику.

Аналогично происходит пуск в направлении «Назад». При переключении командоконтроллера с положения «Вперед» в положение «Назад» отключается контактор КВ и включается контактор КН. При этом обмотка статора двигателя подключается к сети силовыми контактами КН, а контакторы П, У1, У2 отключаются. Происходит торможение двигателя противовключением с полностью введенным сопротивлением в цепь ротора. За время включения РБ1 ток ротора нарастает до величины, большей пускового тока, и реле РП включается, размыкая свой замыкающий контакт в цепи контактора П. поэтому контактор П остается отключенным, а ступень противовключения оказывается введенной в цепь ротора до тех пор, пока ток в цепи ротора не уменьшится до величины тока отпадания реле РП. При отключении реле РП включается контактор П и шунтирует ступень противовключения РП. С этого момента начинается процесс пуска двигателя в обратном направлении аналогично ранее описанному. Реверс с направления «Назад» в направление «Вперед» происходит аналогично.

Для остановки двигателя командоконтроллер ставится в положение «0». При этом контакторы КВ, КН, П, У1, У2 отключаются, обмотка статора двигателя от сети, а в цепь ротора двигателя вводится полное сопротивление. Замыкающие контакты в цепи электромагнитного реле времени торможения РТ размыкаются, и реле РТ лишается питания. Размыкающие контакторы КВ, КН в цепи контактора торможения замыкаются и подключают контактор Т к источнику питания на время, определяемое уставкой реле РТ. По истечении времени уставки замыкающий контакт РТ размыкается и отключает контактор Т. За время включения контактора Т его силовые контакты подключаются к обмотке статора источник постоянного тока, и осуществляется динамическое торможение двигателя.

Максимальная токовая защита силовой схемы осуществляется автоматом АВ1, а схемы управления – автоматом АВ2.

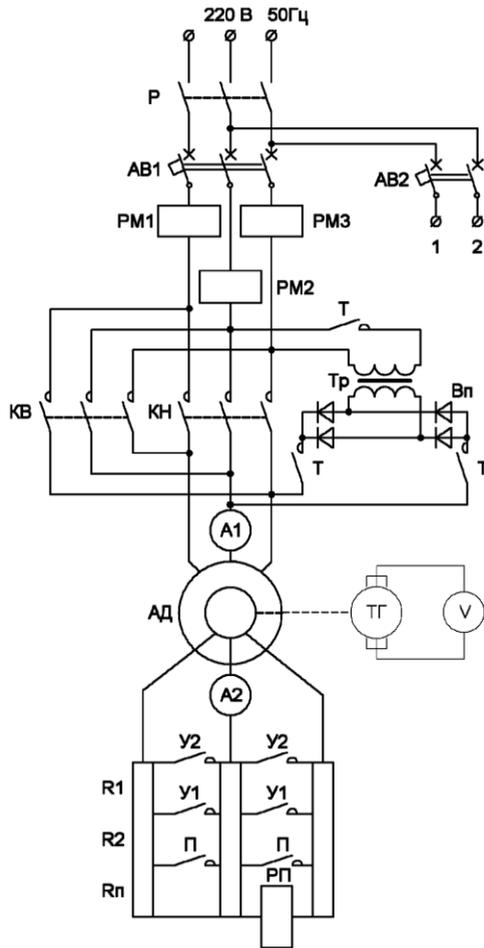


Рис. 2.1а. Схема реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием командоконтроллера

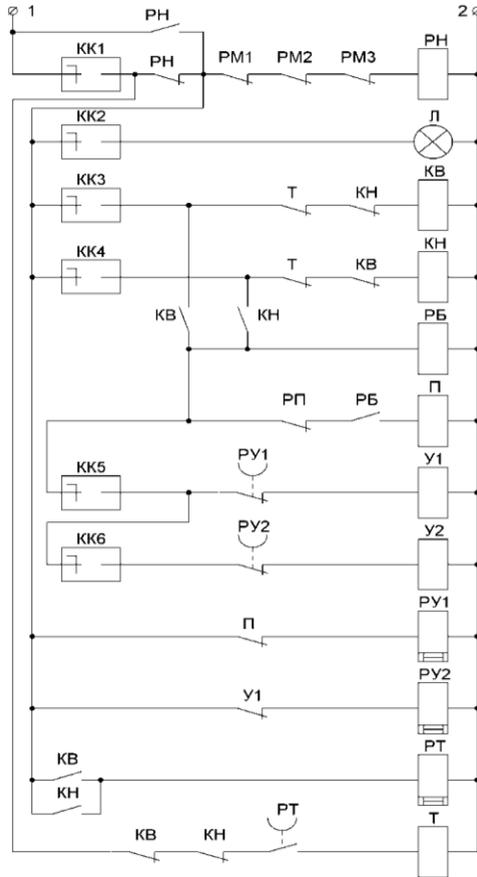


Рис. 2.16. Цепи управления схемы реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателем с фазным ротором по принципу времени с использованием командоконтроллера

Таблица 2.1

	ВПЕРЕД			0	НАЗАД		
	3	2	1		1	2	3
КК1				X			
КК2	X	X	X		X	X	X
КК3	X	X	X				
КК4					X	X	X
КК5	X	X				X	X
КК6	X						X

## Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис. 2.1а, б и опробовать ее в работе.
4. Опробуйте всевозможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.
5. Проверьте, осуществляет ли схема защиту от самозапуска.
6. Настроить уставки реле времени, обеспечивающие пуск двигателя таким образом, чтобы броски тока, контролируемые амперметром А1, при каждой коммутации пусковых ступеней были одинаковыми.
7. Настроить уставку реле динамического торможения РТ.
8. Подключить регистрирующий прибор в панели и записать осциллограммы изменения частоты вращения тока статора и тока ротора при пуске и торможении двигателя.
9. Выполнить расчет уставок реле времени на основании принципиальной схемы и технических данных оборудования.

## Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости, токов статора и ротора при пуске, торможении и реверсе;
6. расчет уставок времени и сопоставление их с экспериментальными данными;
7. пояснения работы схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
8. индивидуальное задание.

## Контрольные вопросы

1. Какие режимы электропривода можно реализовать в рассматриваемой схеме управления? Поясните их получение.

2. Поясните, как схема осуществляет защиту от самозапуска.
3. В функции какого параметра осуществляется пуск двигателя? Какими аппаратными средствами реализуется указанная функция?
4. Какой способ регулирования скорости электродвигателя используется в рассматриваемой схеме? Нарисуйте механические характеристики, соответствующие этому способу.
5. Нарисуйте механические характеристики, соответствующие режиму реверсирования направления вращения.
6. Как изменится процесс реверса двигателя при увеличении статического момента по сравнению с расчетным?
7. Как изменится процесс пуска двигателя при уменьшении статического момента по сравнению с расчетным?
8. Как отразится на процессе реверса двигателя снижение напряжения сети?
9. Как устроен и действует командоконтроллер?
10. Какой способ торможения при реверсе двигателя применен в схеме? В функции какого параметра? Какими аппаратными средствами это решается?
11. От чего зависит время динамического торможения?
12. Как определяется МДС динамического торможения?
13. Какие схемы динамического торможения асинхронных двигателей применяются? Сравнить различные схемы динамического торможения.
14. Назначение реле РП.
15. Для чего необходимо реле РВ1?
16. Как осуществляется в схеме управления нулевая защита?
17. Как устроено и работает пневматическое реле времени?
18. Как осуществляется выбор сопротивления ступеней пускового реостата?
19. Как определяется сопротивление ступеней противовключения?
20. Какие достоинства и недостатки присущи управлению по принципу времени?
21. В функции какого параметра осуществляется торможение противовключением? Какими аппаратными средствами реализуется указанная функция?

## Индивидуальные задания

1. Рассчитать и построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ) при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В с максимальным моментом: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

2. Рассчитать и построить диаграммы электропривода при торможении противовключением ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ) при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В с максимальным моментом: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

3. Рассчитать и построить диаграммы электропривода при динамическом торможении ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ) при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В с максимальным моментом: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

4. Записать логические выражения включения контакторов КВ, КН, Т, П, У1, У2.

5. Определить сопротивления пусковых ступеней ротора, чтобы при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В максимальный момент составлял: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

6. Определить вторичное напряжение трансформатора Тр, чтобы при динамическом торможении через фазу статора протекал ток, равный номинальному при питании схемы от сети: а) 380 В; б) 220 В.

7. Построить механические характеристики для прямого и обратного включения двигателя при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск «Вперед», пуск «Назад», торможение на останов, реверс «Вперед-Назад».

8. Построить электромеханические характеристики для прямого и обратного включения двигателя при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск «Вперед», пуск «Назад», торможение на останов, реверс «Вперед-Назад», реверс «Назад-Вперед».

9. Определить уставку реле управления противовключением.

10. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

11. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

12. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

13. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

14. Построить механическую характеристику для режима динамического торможения при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.

15. Построить электромеханическую характеристику для режима динамического торможения при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.

16. Построить механическую характеристику для режима торможения противовключением при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.

17. Построить электромеханическую характеристику для режима торможения противовключением при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.

18. Определить сопротивления пусковых ступеней в цепи ротора, чтобы при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В максимальный момент составлял: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

19. Определить сопротивление ступени противовключения в цепи ротора, чтобы при напряжении сети :а) 380 В; б) 220 В максимальный момент составлял: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.

20. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при моменте инерции электропривода от расчетного значения(а-1.1 Jp; б-1.05 Jp; в-0.95 Jp; г-0.9 Jp; д-0.85 Jp).

21. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при моменте инерции электропривода от расчетного значения (а-1.1 Jp; б-1.05 Jp; в-0.95 Jp; г-0.9 Jp; д-0.85 Jp).

22. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1Up; б-1.05 Up; в-0.95 Up; г-0.9 Up; д-0.85 Up).

23. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн;

г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

24. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

25. Рассчитать время торможения противовключением двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

26. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

27. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 2а.** Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием трех положений командоконтроллера

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с применением трех положений командоконтроллера, с торможением противовключением при реверсе по принципу тока.

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 2.1а, б.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием трех положений командоконтроллера («Назад», «Вперед» и ну-

левое «0»), торможение при реверсе-противовключением по принципу тока, торможение на останов-динамическое по принципу времени.

2. Собрать схему и опробовать ее в работе.

3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

2. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 2б.** Реверсивное управление пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с использованием кнопок управления

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с применением кнопок управления, торможением противовключением при реверсе по принципу тока.

### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 2.1а, б.

### Порядок проведения работы

1. Составить схему реверсивного управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с

использованием кнопок управления («Включение», «Назад», «Вперед», «Стоп»), торможение при реверсе-противовключением по принципу тока, торможение на останов-динамическое по принципу времени.

2. Собрать схему и опробовать ее в работе.

3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

2. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

### **Работа 3.** Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы нереверсивного управления пуском и динамическим торможением на останов асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени,

### Описание лабораторной работы

Схема управления представлена на рис. 3.1. Пуск и динамическое торможение двигателя осуществляется в функции времени.

Схема подготавливается включением рубильника Р1 и автомата АВ к работе. После нажатия кнопки КнП включается контактор Л и своими силовыми контактами подключает статор двигателя к сети, а замыкающим блок-контактом блокирует кнопку КнП, размыкаяю-

шим блок-контактом разрывает цепь катушки контактора торможения Т и замыкающим блок-контактом включает катушку реле РДТ. Двигатель начинает разгоняться с полностью включенным сопротивлением в цепи ротора. Одновременно с включением контактора Л начинает отсчет времени маятниковое реле времени, находящееся на одной оси с подвижной частью магнитной системы контактора Л. Реле с выдержкой времени замыкает контакт и включает контактор У1. Последний своими силовыми контактами замыкает сопротивление в цепи ротора. Включение контакторов У2 и У3 происходит аналогичным образом, и двигатель выходит на естественную характеристику.

Для остановки двигателя служит кнопка КнС. До нажатия кнопки реле динамического торможения РДТ получает питание от выпрямительного мостика ВП2, который подключается к сети через контакт контактора Л. Реле РДТ подготавливает цепь для включения контактора Т замыканием контакта . Для получения постоянного тока пониженного напряжения, используемого для динамического торможения, служит выпрямительный мост ВП1 и понижающий трансформатор Тр. При нажатии кнопки КнС отключаются контакторы Л, У1, У2, У3. Контактors Л и У3 своими блок-контактами в цепи включают контактор Т (при нажатой кнопке КнС), который своими силовыми контактами подает в обмотку статора двигателя постоянный ток. Начинается динамическое торможение двигателя. Поскольку контактор Л своими блок-контактами размыкает также цепь реле РДТ, последнее с выдержкой времени отключает контактор Т и тем самым прекращает процесс динамического торможения. Выдержка времени реле РДТ настраивается так, чтобы статор двигателя отключился от выпрямителя ВП1 при скорости вращения близкой к нулю.

Максимальная токовая защита схемы осуществляется автоматом АВ.

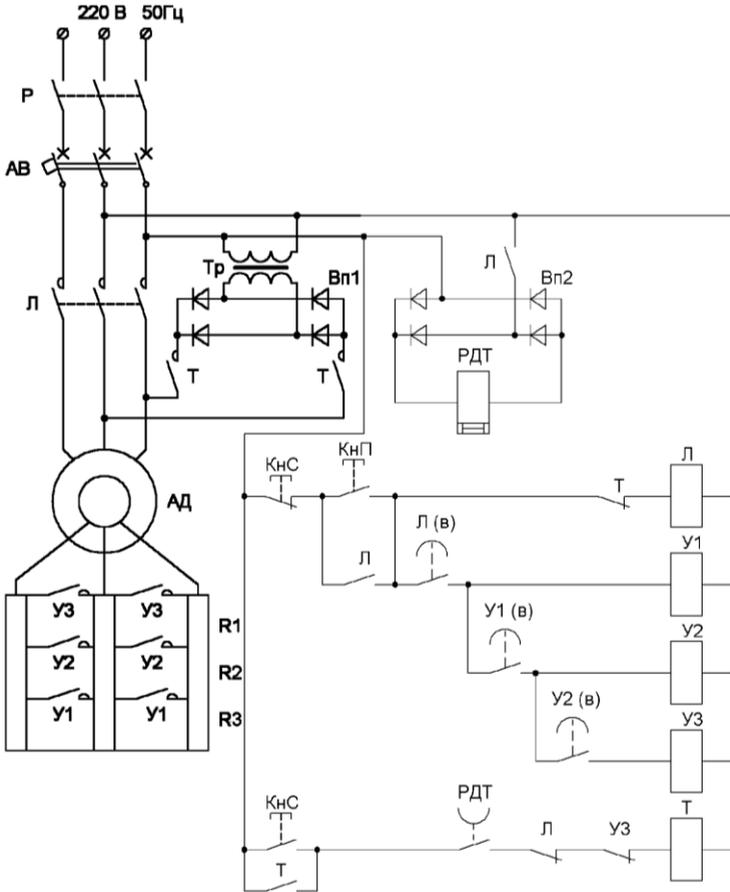


Рис. 3.1. Схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором по принципу времени  
Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис. 3.1 и опробовать ее в работе.
4. Настроить уставки реле времени, обеспечивающие пуск двигателя, таким образом, чтобы броски тока, контролируемые амперметром А1, при каждой коммутации пусковых ступеней были одинаковыми.

5. Настроить уставку реле динамического торможения РДТ.
6. Подключить записывающий прибор к панели и записать осциллограммы изменения частоты вращения, тока статора и тока ротора при пуске и торможении двигателя.
7. Выполнить расчет уставок реле времени на основании принципиальной схемы и технических данных оборудования.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости, токов статора и ротора при пуске, торможении и реверсе;
6. индивидуальное задание.

### Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение блок-контакта Т в цепи катушки линейного контактора Л.
2. От чего зависит время пуска и торможения двигателя?
3. Как изменится процесс пуска двигателя при увеличении статического момента по сравнению с расчетным?
4. Как изменится процесс пуска двигателя при уменьшении статического момента по сравнению с расчетным?
5. Как отразится на процессе пуска двигателя снижение напряжения сети?
6. Какие достоинства и недостатки присущи управлению по принципу времени?
7. Как устроено и работает маятниковое реле времени?
8. Как осуществляется в схеме нулевая защита?
9. Как осуществляется выбор сопротивлений пускового реостата?
10. В чем состоит отличие друг от друга различных схем динамического торможения асинхронных электродвигателей?
11. Какие применяются способы включения контактов контакторов ускорения в цепь ротора? Сравните различные способы.

12. Объяснить назначение блок-контакта Т в цепи катушки контактора Т.
13. От чего зависит момент динамического торможения в изучаемой схеме?
14. Как осуществляется максимальная токовая защита в изучаемой схеме?
15. Как зависят показатели процесса динамического торможения от значений сопротивлений в цепи ротора?
16. Объяснить назначение блок-контакта УЗ в цепи катушки контактора Т.
17. Зачем в цепь динамического торможения включены два контакта контактора Т ?
18. Почему для управления пуском и динамическим торможением используются реле времени разного типа?

#### Индивидуальные задания

1. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ),  $I = f(t)$
2. Построить автоматный граф переходов и выходов для схемы. Выделить на графе режимы работы :пуск и торможение.
3. Определить уставки времени контактора Л, У1, У2, если момент двигателя при работе изменяется: а) от  $2M_H$ ; б) от  $1,9 M_H$ ; в) от  $2,2 M_H$  при напряжении сети 380 В и момент нагрузки  $0,2 M_H$
4. Определить уставки времени контактора Л, У1, У2, если момент двигателя при работе изменяется: а) от  $0,6 M_H$ ; б) от  $0,5 M_H$ ; в) от  $0,55M_H$  при напряжении сети 380 В и момент нагрузки  $0,1 M_H$ .
5. Определить уставку времени реле РДТ, чтобы обеспечить торможение от номинальной скорости до 0 (момент нагрузки при торможении считать равным: а)  $0,9 M_H$ ; б)  $0,8 M_H$ ; в)  $0,7 M_H$ ; г)  $0,6 M_H$ ; д)  $0,5 M_H$  при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.
6. Построить механические статические характеристики электропривода при торможении при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.
7. Построить электромеханические статические характеристики электропривода при торможении при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.
8. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ).

9. Записать систему логических уравнений включения аппаратов схемы.

10. Определить полное добавочное сопротивление одной фазы ротора, чтобы максимальный момент для самой мягкой характеристики составлял: а) 2,0 Мн; б) 2,1 Мн; в) 2,2 Мн (при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В).

11. Определить вторичное напряжение трансформатора  $T_r$ , чтобы при динамическом торможении через фазу статора протекал ток, равный номинальному при питании схемы от сети: а) 380 В; б) 220 В.

12. Построить механические характеристики для прямого и обратного включения двигателя при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск «Вперед», пуск «Назад», торможение на останов, реверс «Вперед-Назад».

13. Построить электромеханические характеристики двигателя при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.

14. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9  $J_p$ ; б-0.95  $J_p$ ; в-1.05  $J_p$ ; г-1.1  $J_p$ ; д-1.0  $J_p$ ).

15. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9  $J_p$ ; б-0.95  $J_p$ ; в-1.05  $J_p$ ; г-1.1  $J_p$ ; д-1.0  $J_p$ ).

16. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9  $J_p$ ; б-0.95  $J_p$ ; в-1.05  $J_p$ ; г-1.1  $J_p$ ; д-1.0  $J_p$ ).

17. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9  $J_p$ ; б-0.95  $J_p$ ; в-1.05  $J_p$ ; г-1.1  $J_p$ ; д-1.0  $J_p$ ).

18. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети (а) 220 В, б) 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9  $J_p$ ; б-0.95  $J_p$ ; в-1.05  $J_p$ ; г-1.1  $J_p$ ; д-1.0  $J_p$ ).

19. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

20. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

21. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

22. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 3а.** Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим трехступенчатым торможением на останов

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим ступенчатым (ступени сопротивлений – R1, R2) торможением на останов.

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 3.1а, б.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени, торможение на останов-динамическое ступенчатым (ступени сопротивлений – R1, R2) по принципу времени.

2. Собрать схему и опробовать ее в работе.

3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 3б.** Управление пуском асинхронного двигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим двухступенчатым торможением на останов

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени с динамическим ступенчатым (ступень сопротивлений – R1) торможением на останов.

### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 3.1а, б.

### Порядок проведения работы

1. Составить схему управления пуском асинхронного электродвигателя с фазным ротором по принципу времени, торможение на останов-динамическое ступенчатым (ступень сопротивлений –R1) по принципу времени.
2. Собрать схему и опробовать ее в работе.

3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

2. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

### **Работа 4.** Управление двигателем постоянного тока по принципу времени

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу времени пуском и динамическим торможением на останов двигателя постоянного тока.

### Описание лабораторной работы

Схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 4.1. Схема подготавливается к работе включением рубильника Р и автоматов АВ2 и АВ1. при этом обмотка возбуждения двигателя подключается к сети. При разомкнутом контакте Л практически все напряжение питания прикладывается к катушкам реле РУ1 и РУ2. Последние включаются и размыкают свои размыкающие контакты в цепях катушек контакторов У1 и У2.

Нажатием кнопки включается контактор Л, который силовым контактом включает двигатель в сеть с полностью введенным пусковым сопротивлением и одновременно замкнет накоротко обмотку реле РУ1, которое начнет отсчет выдержки времени. Обмотка реле ускорения РУ2 находится теперь под напряжением, равным падению напряжения на участке R1 и остается во втянутом положении. Двигатель разгоняется до скорости  $n_1$ , соответствующей искусственной характеристике. После окончания выдержки времени реле РУ1 замыкает свой контакт в цепи катушки контактора У1. Контакт У1 срабатывает и замыкает накоротко первую пусковую ступень R1 одновременно с включенной параллельно ей обмоткой второго реле времени РУ2. Двигатель разгоняется до скорости  $n_2$ , соответствующей второй искусственной характеристике. Реле времени РУ2 отсчитывает заданную выдержку времени и замыкает свой контакт в цепи катушки контактора У2. Контакт У2 срабатывает и замыкает накоротко вторую ступень пускового сопротивления. Двигатель разгоняется до скорости, соответствующей статическому моменту естественной характеристики.

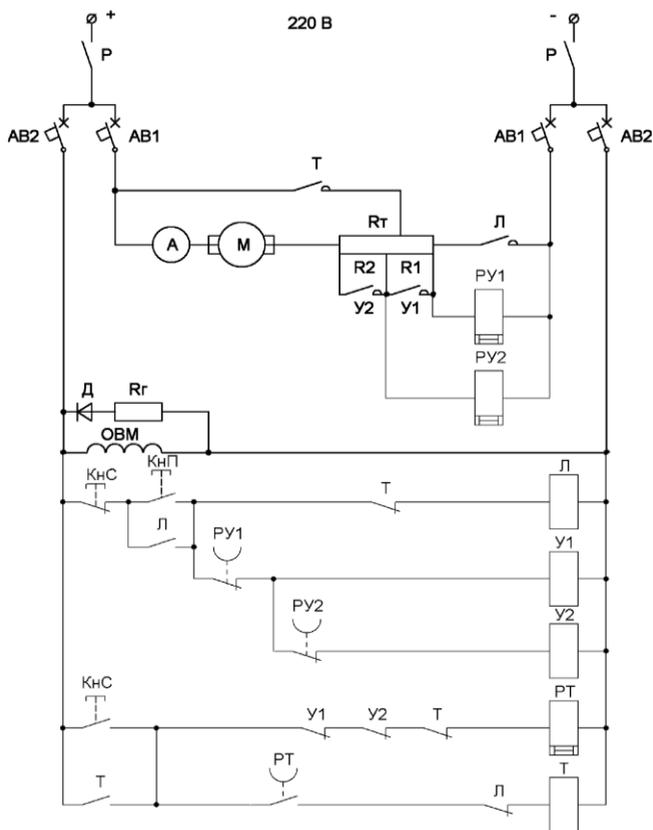


Рис. 4.1. Схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени

Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки КнС. До нажатия кнопки КнС реле РТ и контактор торможения Т отключены. При нажатии на кнопку разрывается цепь питания и отключаются контакторы Л, У1, У2. Реле РТ через замыкающий контакт кнопки КнС, размыкающие контакты У1 и У2 подключится к источнику питания и своим замыкающим контактом включает контактор Т. Замыкающий контакт Т блокирует кнопку КнС, а размыкающий отключает катушку реле РТ от источника питания, обеспечивая начало отсчета выдержки времени реле РТ. Контакт Т подключает сопротивление динамического торможения Rr, обеспечивая про-

теkanie тока в цепи якоря и интенсивное торможение двигателя. Сопротивление  $R_T$  представляет собой часть пускового сопротивления. По истечении заданной выдержки времени двигатель останавливается, а контакт реле  $PT$  отключает катушку контактора  $T$  от источника питания, и схема приходит в исходное состояние. Выдержка времени  $PT$  настраивается так, чтобы якорь отключался от источника питания при скорости вращения, близкой к нулю.

В схеме предусмотрена взаимная блокировка контакторов  $T$  и  $L$  их размыкающими блок-контактами, исключающая возможность одновременного включения контакторов.

С целью защиты обмотки возбуждения двигателя от перенапряжений при отключении ее от сети установлено гасящее сопротивление  $R_G$ , которое включено параллельно обмотке через вентиль  $D$ . Максимальная токовая защита двигателя и цепей управления осуществляется соответственно автоматами  $AB1$  и  $AB2$ .

Для измерения тока якоря электродвигателя предусмотрен амперметр  $A$ . Для измерения напряжения на катушках реле ускорений, предусмотрен вольтметр  $V$ .

### Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис.4.1 и опробовать ее в работе.
4. Настроить уставки реле времени, обеспечивающие пуск двигателя таким образом, чтобы броски тока, контролируемые амперметром  $A$ , при каждой коммутации пусковых ступеней были одинаковыми.
5. Настроить уставку реле динамического торможения  $PT$ .
6. Снять диаграммы (осциллограммы) скорости, токов статора и ротора при пуске, торможении и реверсе;
7. Выполнить расчет уставок реле времени на основании принципиальной схемы и технических данных оборудования.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;

2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости, токов статора и ротора при пуске, торможении и реверсе;
6. расчет уставок времени и сопоставление их с экспериментальными данными.
7. пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
8. индивидуальное задание.

### Контрольные вопросы

1. Как обеспечивается выдержка времени в электромагнитных реле?
2. Пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
3. От чего зависит время разгона двигателя постоянного тока?
4. Как определяются уставки реле времени при управлении по принципу времени?
5. Какие способы включения реле времени при управлении двигателем постоянного тока вы знаете? Их достоинства и недостатки.
6. Достоинства управления по принципу времени.
7. Какие недостатки присущи способу управления по принципу времени?
8. Как влияют на процессы пуска и торможения изменение статического момента и момента инерции?
9. Как влияют на процессы пуска и торможения изменения напряжения питания (сети) и температуры сопротивлений катушек реле?

### Индивидуальные задания

1. Рассчитать и построить пусковые диаграммы электропривода ( $I_{\text{я}} = f(t)$ ,  $E_{\text{я}} = f(t)$ ).
2. Построить граф переходов схемы.
3. Рассчитать сопротивления ступеней пускового реостата, если  $I_{\text{max}} = 2,5 I_{\text{ян}}$ .

4. Определить уставку времени реле РТ, чтобы обеспечить торможение от номинальной скорости до 0. Начальный момент динамического торможения равен 2 Мн.

5. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ).

6. Определить уставку времени реле РТ, чтобы обеспечить торможение от номинальной скорости до 0 при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В.

7. Рассчитать и построить электромеханические характеристики двигателя при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.

8. Рассчитать и построить механические статические характеристики электропривода при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.

9. Записать логические уравнения включения контакторов Л, У1, У2.

10. Записать логические уравнения включения контактора Т.

11. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети = 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн)

12. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети переменное 220-однофазная мостовая схема выпрямления; – при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

13. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн).

14. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн).

15. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети (а)220 В; б) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

16. Записать уравнения момента и скорости двигателя при торможении при напряжении сети (а) 220 В; б) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн).

17. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

18. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

19. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн; д-0.0 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.05 Jr; г-1.1 Jr; д-1.0 Jr).

20. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети (а)220 В б)380 В) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции привода от расчетного (а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.05 Jr; г-1.1 Jr; д-1.0 Jr).

21. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

22. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и при изменении напряжения сети по сравнению с расчетным (а-1.1 Ур; б-1.05 Ур; в-0.95 Ур; г-0.9 Ур; д-0.85 Ур).

23. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

24. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

## **Работа 4а.** Управление пуском двигателя постоянного тока по принципу времени с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу времени пуском с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове.

### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 4.1.

### Порядок проведения работы

1. Составить схему нереверсивного управления по принципу времени пуском с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове.
2. Собрать схему и опробовать ее в работе.
3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

## **Работа 4б.** Управление пуском двигателя постоянного тока по принципу времени и динамическим торможением в две ступени при останове

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу времени пуском и динамическим торможением в две ступени.

### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 4.1.

### Порядок проведения работы

1. Составить схему нереверсивного управления по принципу времени пуском с динамическим торможением в две ступени (ступени сопротивлений – R1, R2) и постоянно подключенной ступенью R2 при останове.
2. Собрать схему и опробовать ее в работе.
3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.
2. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

## **Работа 5.** Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу скорости пуском и динамическим торможением на останов двигателя постоянного тока. Ознакомление с особенностями управления двигателем постоянного тока по принципу скорости.

### Описание лабораторной работы

Схема управления двигателем постоянного тока по принципу скорости показана на рис. 5.1.

Включением рубильника Р и автоматов АВ2 и АВ1 схема подготавливается к работе. По параллельной обмотке возбуждения начинает протекать полный ток. Все реле и контакторы находятся в отключенном состоянии.

Нажатием кнопки КнП – включается контактор Л, который главным контактом включает в сеть двигатель с полностью введенным сопротивлением и одновременно своим размыкающим контактом отключает реле динамического торможения от зажимов якоря электродвигателя, а замыкающим контактом обеспечивает самоблокировку. Двигатель начинает разгоняться по искусственной характеристике. При достижении скорости двигателя  $n_1$  втягивается реле РУ1 и своим замыкающим контактом включает контактор У1. Главным контактом У1 замыкается ступень сопротивления R1 и двигатель переводится на вторую искусственную характеристику. Одновременно своим замыкающим блок-контактом контактор У1 становится на самопитание. Разгон двигателя по второй искусственной характеристике продолжается до достижения скорости  $\omega_2$ . При этом втягивается реле РУ2 и своим замыкающим блок-контактом включает контактор У2. Главным контактом У2 замыкает ступень пускового сопротивления R2 и двигатель переводится на естественную характеристику. Одновременно своим замыкающим блок-контактом контактор У2 становится на самопитание, а размыкающим блок-контактом отключает реле РУ1 и РУ2 от зажимов якоря двигателя. Реле РУ1 и РУ2 отключаются и размыкают свои контакты в цепях контакторов У1 и У2, но катушки контакторов остаются включенными благодаря самоблокировке. Разгон двигателя по естественной характеристике продолжается до момента равенства момента двигателя статическому моменту на его валу.

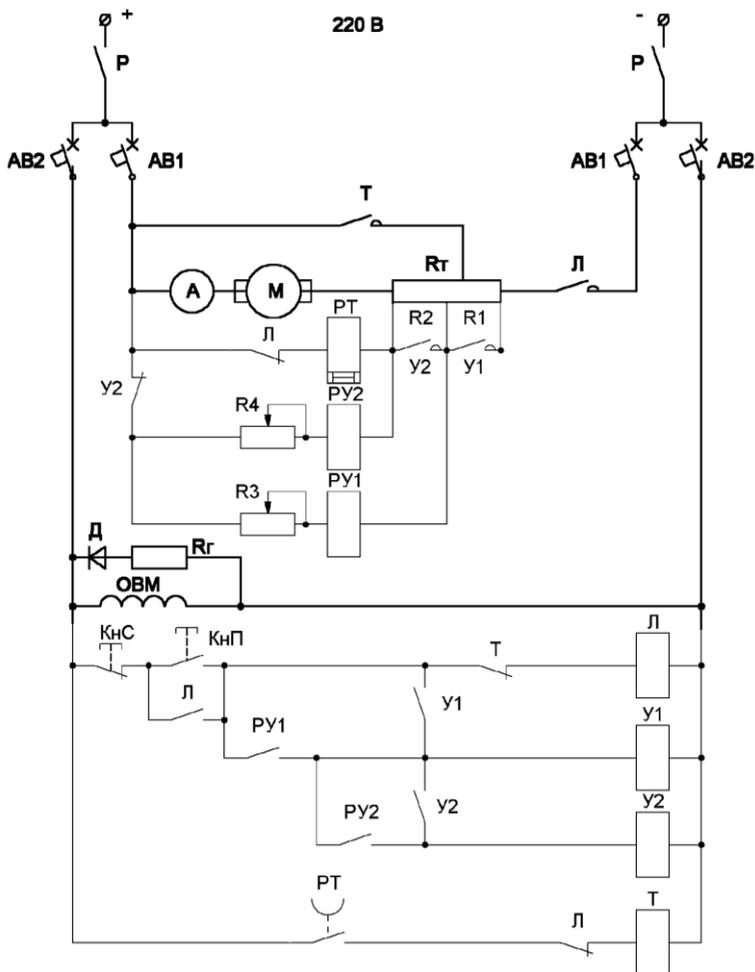


Рис. 5.1. Схема управления двигателем постоянного тока по принципу скорости

Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки KnC. До нажатия кнопки KnC контактор Л включен, а реле PT отключено. При нажатии на кнопку KnC разрывается цепь питания контакторов Л, Y1, Y2 и эти аппараты отключаются. Двигатель отключается от сети главным контактом Л. Контакты Y2 и Y1 расшунтируют ступени пускового реостата R1 и R2, а размыкающий блок контакт

контактора Л подключает катушку РТ к зажимам якоря электродвигателя. Реле РТ включится и своим замыкающим контактом включит контактор Т. Главный контакт Т включит на якорь электродвигателя сопротивление динамического торможения РТ. Двигатель интенсивно тормозится. При снижении ЭДС. якоря двигателя до напряжения отпадания реле РТ отключится с заданной выдержкой времени. Дальнейшее торможение осуществляется в функции времени. При отпадании реле РТ после отсчета заданной выдержки времени отключается контактор Т и отключает от якоря электродвигателя сопротивление динамического торможения. Схема приходит в исходное состояние.

В схеме предусмотрена взаимная блокировка контакторов Т и Л их размыкающими блок-контактами, исключающая возможность одновременного включения контакторов.

С целью защиты обмотки возбуждения двигателя от перенапряжений при отключении ее от сети установлено гасящее сопротивление РГ, которое включено параллельно обмотке возбуждения через вентиль Д.

Максимальная токовая защита двигателя и цепей управления осуществляется соответственно автоматами АВ1 и АВ3.

Для измерения токов якоря электродвигателя предусмотрен амперметр А. Для измерения напряжений срабатывания реле РУ1, РУ2, РТ предусмотрен вольтметр V.

### Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис. 5.1 и опробовать ее в работе;
4. Настроить сопротивления R3, R4 в цепях реле РУ1; РУ2 таким образом, чтобы броски тока, контролируемые амперметром А, при каждой коммутации пусковых ступеней, были одинаковыми.
5. Настроить уставку реле динамического торможения РТ.
6. Подключить регистрирующий прибор к панели и записать осциллограммы изменения скорости и тока якоря при пуске и торможении двигателя.
7. Замерить с помощью вольтметра V напряжения срабатывания реле РУ1, РУ2.

8. Выполнить расчет напряжений срабатывания реле РУ1, РУ2 на основании принципиальной схемы и технических данных оборудования.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости, токов статора и ротора при пуске, торможении и реверсе;
6. расчет напряжений срабатывания реле РУ1, РУ2 и величин сопротивлений R3, R4. Сопоставление данных расчета с экспериментальными данными.
7. пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
8. индивидуальное задание.

### Контрольные вопросы

1. Какие способы включения реле ускорений при управлении двигателем постоянного тока по принципу скорости вы знаете? Их достоинства и недостатки.
2. Пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
3. Достоинства управления по принципу скорости.
4. Какие недостатки присущи способу управления по принципу скорости?
5. Как влияют на процессы пуска и торможения изменения статического момента, момента инерции, напряжения питающей сети при управлении по принципу скорости?
6. Как рассчитываются величины дополнительных сопротивлений в цепях реле ускорений в схеме (рис. 5.1)?
7. Какими способами можно контролировать скорость (ЭДС) двигателя постоянного тока для управления пуском и торможением?
8. По какому принципу осуществляется управление динамическим торможением в схеме (рис. 5.1)?

## Индивидуальные задания

1. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $I_{\text{я}} = f(t)$ ,  $E_{\text{я}} = f(t)$ ,  $U_{\text{я}} = f(t)$ ).

2. Рассчитать величину тормозного сопротивления, чтобы начальный ток динамического торможения равнялся а-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,5$ ; б-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,4$ ; в-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,3$ ; г-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,2$ ; д-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,1$ ; е-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,0$ ; ж-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 1,9$ .

3. Рассчитать сопротивления реостатов  $R3$ ,  $R4$ . Электропитание привода осуществляется от сети переменного напряжения 220 В через однофазную мостовую схему выпрямления

4. Построить автоматный граф переходов и выходов для схемы.

5. Рассчитать сопротивления ступеней пускового реостата, если а-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,5$ ; б-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,4$ ; в-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,3$ ; г-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,2$ ; д-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,1$ ; е-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,0$ ; ж-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 1,9$ .

6. Рассчитать и построить электромеханические характеристики двигателя при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В и при (а-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,5$ ; б-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,4$ ; в-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,3$ ; г-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,2$ ; д-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,1$ ; е-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,0$ ; ж-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 1,9$ ). Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.

7. Рассчитать и построить механические характеристики двигателя при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В и при (а-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,5$ ; б-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,4$ ; в-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,3$ ; г-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,2$ ; д-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,1$ ; е-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 2,0$ ; ж-  $I_{\text{я}}/I_{\text{макс}} = 1,9$ ). Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.

8. Записать систему логических уравнений включения аппаратов схемы.

9. Рассчитать время пуска двигателя и значения скоростей переключения ступеней при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма от расчетного (а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.0 Jr; г-1.05 Jr; д-1.1 Jr).

10. Рассчитать время пуска двигателя и значения скоростей переключения ступеней при напряжении сети 220-однофазная мостовая схема выпрямления; В- при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн;

б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма от расчетного(а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.0 Jr; г-1.05 Jr; д-1.1 Jr).

11. Рассчитать время торможения двигателя на останов при напряжении сети 220 В 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма от расчетного (а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.0 Jr; г-1.05 Jr; д-1.1 Jr) и максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ). Определить уставку времени реле РТ.

12. Рассчитать время торможения двигателя на останов при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма от расчетного (а-0.9 Jr; б-0.95 Jr; в-1.0 Jr; г-1.05 Jr; д-1.1 Jr) и максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ). Определить уставку времени реле РТ.

13. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

14. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

15. Записать уравнения момента и скорости двигателя при торможении при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн).

16. Записать уравнения момента и скорости двигателя при торможении при напряжении сети переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и максимальном моменте двигателя (а-2.2 Мн; б-2.1 Мн; в-2.0 Мн; г-1,9 Мн; д-1,8 Мн).

17. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

18. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 5а.** Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу времени пуском с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове.

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 5.1.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему нереверсивного управления по принципу скорости пуском с постоянно подключенным сопротивлением динамического торможения при останове.
2. Собрать схему и опробовать ее в работе.
3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

#### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

#### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 5б.** Управление двигателем постоянного тока по принципу скорости и динамическим торможением в две ступени при останове

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы нереверсивного управления по принципу скорости пуском и динамическим торможением в две ступени.

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 5.1.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему нереверсивного управления по принципу скорости пуском с динамическим торможением в две ступени (ступени сопротивлений – R1, R2) и постоянно подключенной ступенью R2 при останове.

2. Собрать схему и опробовать ее в работе.

3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

#### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

#### Индивидуальные задания

1. По разработанной принципиальной схеме составить электро-монтажную схему (схему соединений) системы управления элект-

троприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

2. По разработанной принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

### **Работа 6.** Реверсивное управление двигателем постоянного тока по принципу тока с помощью командоконтроллера

*Цель работы:* изучение, сборка и наладка схемы реверсивного управления пуском по принципу тока и торможением противовключением при реверсе по принципу скорости и динамическим торможением на останов по принципу времени двигателя постоянного тока. Ознакомление с особенностями управления двигателя постоянного тока по принципу тока и режимом противовключения по принципу скорости.

#### Описание лабораторной установки

Схема управления двигателем постоянного тока по принципу тока показана на рис. 6.1, 6.2. Управление работой двигателя осуществляется с помощью командоконтроллера КК, имеющего по три фиксированных положения «Назад», «Вперед» и нулевое положение «0» (табл. 6.1). Соответствующие положения КК обозначены на схеме вертикальными пунктирными линиями, контакты командоконтроллера – КК1 – КК6. Контакты замкнуты в соответствующем положении командоконтроллера, если они отмечены зачерненным кружком.

Схема подготавливается к работе включением рубильника Р и автоматов. По параллельной обмотке возбуждения двигателя начинает протекать ток. Реле контроля возбуждения РКВ, включенное последовательно с обмоткой возбуждения двигателя, втягивается и замыкает свой замыкающий контакт в цепи реле минимального напряжения РН. Если командоконтроллер установлен в нулевое положение, то реле РН включается и становится на самопитание.

Для пуска двигателя вперед или назад переключаем последовательно командоконтроллер в положения «Вперед» – 1,2,3 или «Назад». При установке командоконтроллера в положение

«Вперед-1» замыкаются контакты 9–10 и 13–15. При этом включается контактор Л и реле динамического торможения РТ. Двигатель подключается к источнику питания через контакты

контактора Л. В сопротивление РП, R1, R2 и контакты контакторов В, а реле противовключения РПВ подключается к источнику питания через блок-контакт контактора В и втягивается. Замыкающий контакт реле РПВ включает контактор противовключения П, который шунтирует своим главным контактом ступень противовключения РП. Двигатель начинает разгоняться по искусственной характеристике. Ток якоря в первый момент достигает максимально допустимой величины и токовое реле РУ1 втягивается, размыкая свой размыкающий контакт в цепи контактора У1. При переводе командоконтроллера в положение «Вперед» – 2 остаются включенными цепи контакторов В, Л, П и реле РТ, замыкается контакт 25–26, подготавливая к включению контактор У1. По мере разгона двигателя ток якоря уменьшается до величины тока отпадания  $I_{\min}$ . При этом реле РУ1 отключается и своим размыкающим контактом включает контактор У1. Последний шунтирует первую ступень сопротивления, и реле РУ1 надежно отключается. Двигатель переходит на вторую искусственную характеристику. Бросок тока  $I_{\max}$ , возникающий при этом, включает реле РУ2, которое размыкает свой размыкающий контакт в цепи контактора У2. При переключении командоконтроллера в положение «Вперед» – 3 подготавливается цепь питания контактора У2. При уменьшении тока якоря до величины отпадания  $I_{\min}$  реле РУ2 отпадает и включает контактор У2, который шунтирует последнюю ступень пускового реостата одновременно надежно отключая реле РУ2. Двигатель разгоняется по естественной характеристике до скорости, определяемой статическим моментом.

Для осуществления реверса командоконтроллер переводится в положение «Назад» – I. При этом аналогично описанному выше включаются контакторы Л и Н, но реле противовключения остается отключенным, так как напряжение на его катушке меньше напряжения втягивания. Осуществляется интенсивное торможение противовключением. При этом: в цепь якоря электродвигателя введены сопротивления РП, R1, R2. При достижении скорости, близкой к

нулю, реле РПН включается, ступень РП шунтируется и начинается обычный процесс пуска, аналогичный описанному выше.

Остановка двигателя осуществляется динамическим торможением по принципу времени. Перед торможением реле торможения РТ включено и его замыкающий контакт в цепи контактора торможения Т замкнут. Размыкающие контакты контакторов Л и У2 разомкнуты. Цепь питания контактора Т отключена от источника питания размыкающим контактором реле минимального напряжения РН. При переводе командоконтроллера в положение 0 контакторы Л, В, Н, У1, У2, П и реле торможения РТ отключаются. Двигатель отключается от сети, а цепь питания контактора торможения замыкается через контакты: командоконтроллера (точки 3, 4), замыкающий контакт реле РТ, размыкающие блок-контакты контакторов Л и У2. При этом включается контактор Т и своими главными контактами подключает на якорь электродвигателя сопротивление динамического торможения РТ. Происходит интенсивное динамическое торможение. По истечении заданной выдержки времени реле РТ отключает контактор Т и схема приходит в походное состояние.

Для предотвращения преждевременного включения контакторов У1 и У2 и возникновения толчков тока в цепь контактора У1 введен блок-контакт контактора П, а в цепь контактора У2 – блок-контакт контактора У1.

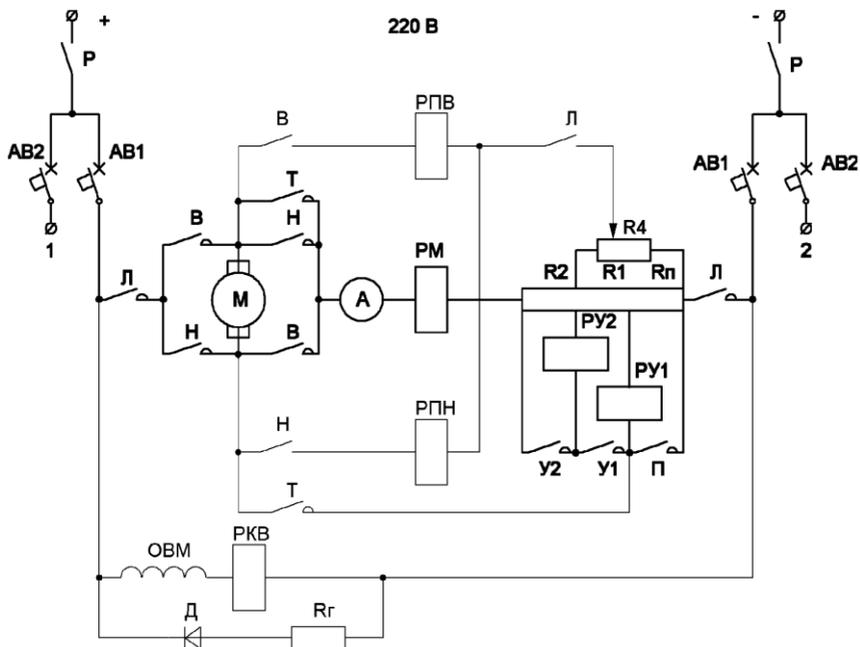


Рис. 6.1а. Схема силовых цепей системы реверсивного управления пуском двигателя постоянного тока по принципу тока с помощью командоконтроллера

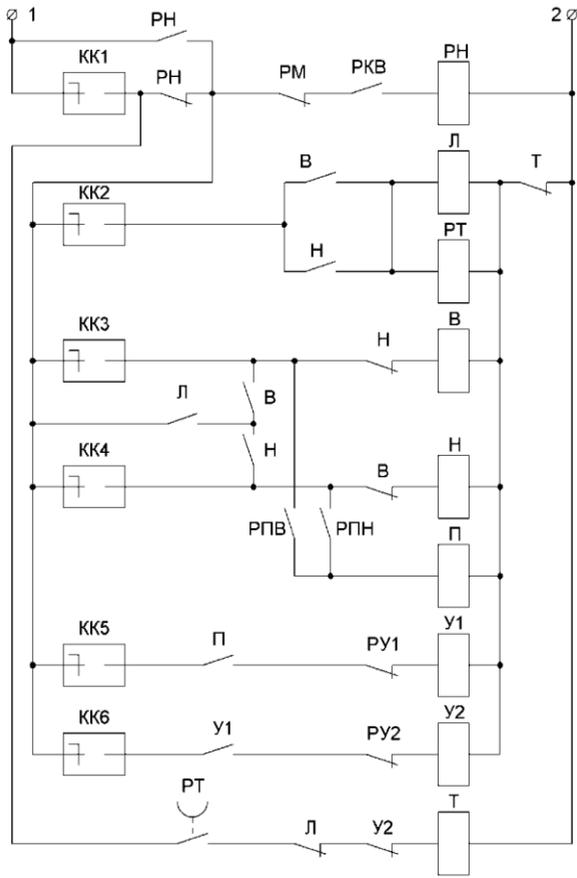


Рис. 6.16. Схема цепей управления системы реверсивного управления пуском двигателя постоянного тока по принципу тока с помощью командоконтроллера

Таблица 6.1

	ВПЕРЁД			0	НАЗАД		
	3	2	1		1	2	3
КК1				X			
КК2	X	X	X		X	X	X
КК3	X	X	X				
КК4					X	X	X
КК5	X	X				X	X
КК6	X						X

В схеме предусмотрена взаимная блокировка контакторов Л, В, Н, У1, У2 с контактором Т. С этой целью в цепь питания контакторов Л, В, Н, У1, У2 введен размыкающий блок-контакт контактора Т, а в цепь питания контактора Т вводятся размыкающие блок-контакты Л и У2.

С целью защиты обмотки возбуждения двигателя от перенапряжений, возникающих при отключении ее от сети, установлено гасящее сопротивление  $R_T$ , которое включено параллельно обмотке через вентиль. Для защиты двигателя от повреждений при исчезновении или резком снижении тока возбуждения служит реле контроля возбуждения РКВ.

Для исключения возможности самозапуска двигателя или работы его при резко пониженном напряжении сети предусмотрена защита минимального напряжения, осуществляемая при помощи реле РН.

Максимальная токовая защита цепей управления осуществляется автоматом АВ2, а максимальная токовая защита двигателя реле максимального тока РМ.

Для измерения токов якоря электродвигателя предусмотрен амперметр А.

### Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Собрать схему согласно рис. 6.1 и опробовать ее в работе.
4. Настроить реле РУ1, РУ2 таким образом, чтобы броски тока, контролируемые амперметром А при каждой коммутации пусковых ступеней, были одинаковыми.
5. Установить движок потенциометра R4 таким образом, чтобы реле противовключения РПВ и РПН срабатывали при скорости двигателя, близкой к нулю.
6. Настроить уставку реле динамического торможения.
7. Подключить записывающий прибор к панели и записать осциллограммы изменения частоты вращения, тока якоря при пуске, реверсе и торможении на останов двигателя.
8. Выполнить расчет уставок реле РУ1, РУ2 и точки подключения реле РПВ, РПН к потенциометру R4 на основании принципиальной схемы и технических данных оборудования.

## Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости и тока якоря при пуске, реверсе и торможении на останов двигателя постоянного тока;
6. расчет уставок реле ускорений и определение точки подключения реле противовключения. Сопоставление данных расчета с экспериментальными данными.
7. индивидуальное задание.

### Контрольные вопросы

1. Достоинства управления по принципу тока.
2. Пояснить работу схемы управления на статических характеристиках и линейных диаграммах.
3. Какие недостатки присущи способу управления по принципу тока?
4. Как влияют на процесс пуска изменения статического момента, момента инерции, напряжения питающей сети при управлении по принципу тока?
5. Как определяются уставки реле ускорений при управлении по принципу тока?
6. Как рассчитать точку подключения реле противовключения?
7. Какие способы включения реле ускорений при управлении двигателем постоянного тока по принципу тока Вы знаете?

### Индивидуальные задания

1. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $I_{я} = f(t)$ ,  $E_{я} = f(t)$ ).
2. Записать логические выражения включения контакторов Л, В, Н, Т, П, У1, У2.
3. Определить величину суммарного добавочного сопротивления, чтобы начальный ток торможения противовключением составлял при напряжении сети = 220 В: а-2.0 Ин; б-2.1 Ин; в-1.9 Ин; г-1.8 Ин; д-1.7 Ин. Торможение начинается с номинальной скорости.

4. Построить граф переходов схемы.
5. Рассчитать сопротивления ступеней пускового реостата, чтобы при напряжении сети = 220 В максимальный момент составлял: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.
6. Определить уставку времени реле РТ, чтобы обеспечить торможение от номинальной скорости до 0. Начальный момент динамического торможения равен: а-2.0 Мн; б-2.1 Мн; в-1.9 Мн; г-1.8 Мн; д-1.7 Мн.
7. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $M = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$ ).
8. Рассчитать и построить электромеханические характеристики двигателя при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода: пуск, торможение на останов.
9. Рассчитать и построить механические характеристики двигателя при пуске при напряжении сети: а) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления; б) = 220 В. Показать на характеристиках режимы работы. Записать логические уравнения включения контакторов Л, У1, У2
10. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма (а-0.1 Дж; б-0.2 Дж; в-0.3 Дж; г-0.4 Дж; д-0.5 Дж).
11. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма (а-0.1 Дж; б-0.2 Дж; в-0.3 Дж; г-0.4 Дж; д-0.5 Дж).
12. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма (а-0.1 Дж; б-0.2 Дж; в-0.3 Дж; г-0.4 Дж; д-0.5 Дж).
13. Рассчитать время торможения двигателя при напряжении сети 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн) и моменте инерции механизма (а-0.1 Дж; б-0.2 Дж; в-0.3 Дж; г-0.4 Дж; д-0.5 Дж).
14. Рассчитать время торможения двигателя на останов при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции

механизма от расчетного (а-0.9 Jp; б-0.95 Jp; в-1.0 Jp; г-1.05 Jp; д-1.1 Jp) и максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ;

г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ). Определить уставку времени реле РТ.

15. Рассчитать время торможения двигателя на останов при напряжении сети 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн;

г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма от расчетного (а-0.9 Jp; б-0.95 Jp; в-1.0 Jp; г-1.05 Jp; д-1.1 Jp) и максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ). Определить уставку времени реле РТ.

16. Рассчитать время торможения двигателя противовключением при напряжении 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), изменении напряжения питания от расчетного (а-0.9 Ун; б-0.95 Ун; в-1.15 Ун; г-1.05 Ун; д-1.1 Ун) и расчетном максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ). Определить уставку реле РПВ РПН.

17. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети (а) 220 В; б) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма (а-0.1 Jд; б-0.2 Jд; в-0.3 Jд; г-0.4 Jд; д-0.5 Jд) изменении напряжения питания от расчетного (а-0.9 Ун; б-0.95 Ун; в-1.15 Ун; г-1.05 Ун; д-1.1 Ун) и расчетном максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ).

18. Записать уравнения момента и скорости двигателя при торможении на останов при напряжении сети (а) 220 В; б) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма (а-0.1 Jд; б-0.2 Jд; в-0.3 Jд; г-0.4 Jд; д-0.5 Jд), изменении напряжения питания от расчетного (а-0.9 Ун; б-0.95 Ун; в-1.15 Ун; г-1.05 Ун; д-1.1 Ун) и расчетном

максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ).

19. Записать уравнения момента и скорости двигателя при торможении противовключением при напряжении сети (а) 220 В; б) переменное 220 В-однофазная мостовая схема выпрямления) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн), моменте инерции механизма (а-0.1 Дж; б-0.2 Дж; в-0.3 Дж; г-0.4 Дж; д-0.5 Дж) изменении напряжения питания от расчетного (а-0.9 Ун; б-0.95 Ун; в-1.15 Ун; г-1.05 Ун; д-1.1 Ун ) и расчетном максимальном токе (а- $I_{max} = 2,5 I_{ян}$ ; б- $I_{max} = 2,4 I_{ян}$ ; в- $I_{max} = 2,3 I_{ян}$ ; г- $I_{max} = 2,2 I_{ян}$ ; д- $I_{max} = 2,1 I_{ян}$ ; е- $I_{max} = 2,0 I_{ян}$ ; ж- $I_{max} = 1,9 I_{ян}$ ).

20. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

21. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

**Работа 6а.** Реверсивное управление двигателем постоянного тока по принципу тока с использованием трех положений командоконтроллера

*Цель работы:* составление, сборка и наладка схемы реверсивного управления пуском по принципу тока, торможением противовключением при реверсе по принципу скорости и динамическим торможением на останов по принципу времени двигателя постоянного тока с использованием трех положений командоконтроллера.

#### Описание лабораторной работы

Исходная схема управления двигателем постоянного тока по принципу времени представлена на рис. 6.1а, б.

#### Порядок проведения работы

1. Составить схему реверсивного управления пуском по принципу тока, торможением противовключением при реверсе по принципу скорости и динамическим торможением на останов по прин-

ципу времени двигателя постоянного тока с использованием трех положений командоконтроллера.

2. Собрать схему и опробовать ее в работе.
3. Опробуйте все возможные режимы работы электропривода, осуществляемые рассматриваемой схемой.

### Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. анализ работы схемы управления;
4. индивидуальное задание.

### Индивидуальные задания

1. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.
2. По разработанной принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) силовой части электропривода в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

### **Работа 7.** Реверсивное управление асинхронным однофазным конденсаторным двигателем с помощью симисторного пускателя

*Цель работы:* изучить принципиальную схему управления асинхронным однофазным конденсаторным двигателем с реверсивным симисторным пускателем; исследовать статические механические характеристики электропривода при питании асинхронного электродвигателя через симисторный пускатель.

### Описание лабораторной установки

Пускатель симисторный ПС (ПБР-2м) предназначен для бесконтактного управления электрическим исполнительным механизмом с асинхронным однофазным конденсаторным электродвигателем (АОКД).

Пускатель состоит из силовых бесконтактных ключей на симисторах V2.1, V2.2, V2.3, схемы управления бесконтактными ключа-

ми -блокинг-генераторов БГ1, БГ2, БГ3, конденсатора С включенного последовательно в пусковую обмотку двигателя и источника питания для дистанционного управления пускателем.

В схеме управления резисторы R1, R2 задают входное сопротивление пускателя при малом уровне входного сигнала. Резистор R3 ограничивает бросок входного тока при подаче сигнала управления на вход пускателя. Конденсаторы C1, C2 и диоды V2, V3 сглаживают пульсацию управляющего сигнала. Транзистор V8, резисторы R4, R5 и диодная матрица V9 исключают включение блокинг-генераторов при подаче сигнала управления на оба входа.

Стабилитроны V6, V7 предназначены для защиты транзистора V8 от пробоя при перегрузке пускателя по входному сигналу.

Блокинг-генераторы, формирующие импульсы управления симисторами, состоят из транзисторов V15–V17, диодов V12–V14, V18–V20, трансформаторов T2–T4, конденсаторов C47–C6, резисторов R8–R16.

В силовой схеме симисторы V21–V23 коммутируют напряжение, от которого осуществляется электрическое питание обмоток АОКД, а конденсаторы C7–C9 и резисторы R17–R19 улучшают условия коммутации. Дроссели L1–L3 ограничивают величину ударного тока при аварийных перегрузках симисторов.

Источник питания цепи дистанционного управления состоит из трансформатора T4 и диодной матрицы V1. Вывод источника с отрицательным потенциалом соединен с клеммой «Д», а с положительным – с клеммой «Ср».

Входной сигнал управления пускателем – постоянное напряжение  $(24 \pm 6)В$  – подается на клеммы «Ср»- «М» или «Ср»- «Б». На клемму «Ср» подается положительный потенциал, на клеммы «М» или «Б» – отрицательный потенциал сигнала управления.

Обозначение «М» (меньше-назад) и «Б» (больше-вперед) приняты условно.

В исходном состоянии (входные сигналы отсутствуют) напряжения питания на схеме управления нет, симисторы закрыты. При подаче управляющего сигнал на клеммы «Ср»- «М» («Ср»- «Б») заряжаются конденсаторы C1 (C2) и C3.

Напряжение с конденсатор C3 через диодную матрицу V9 подается на вход эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе V8. Напряжение с выхода эмиттерного повторителя подается

на блокинг-генераторы, выполненные на транзисторах V15, (V16), V17 и трансформаторах T1 (T2) T3. Блокинг-генераторы формируют импульсы, отпирающие симисторы V22 (V21) и V23. Питающее напряжение с клеммы 1 через открытый симистор V23 и последовательно соединенный с ним V22 (V21) подается на выход пускателя клемму «Б» («М»).

#### Порядок проведения работы

1. Изучить схему управления электропривода по инструкции.
2. Ознакомиться с используемым оборудованием и выписать его технические данные.
3. Опробовать схему в работе с: а) конденсатором С включенным последовательно в пусковую обмотку двигателя; б) с увеличенной емкостью конденсатора С включенного последовательно в пусковую обмотку двигателя; в) с закороченным конденсатором С.
9. Подключить записывающий прибор к панели и записать осциллограммы изменения частоты вращения, тока статора и напряжения на пусковой обмотке при пуске, реверсе и торможении на останов двигателя.
4. Выполнить анализ работы схемы управления.

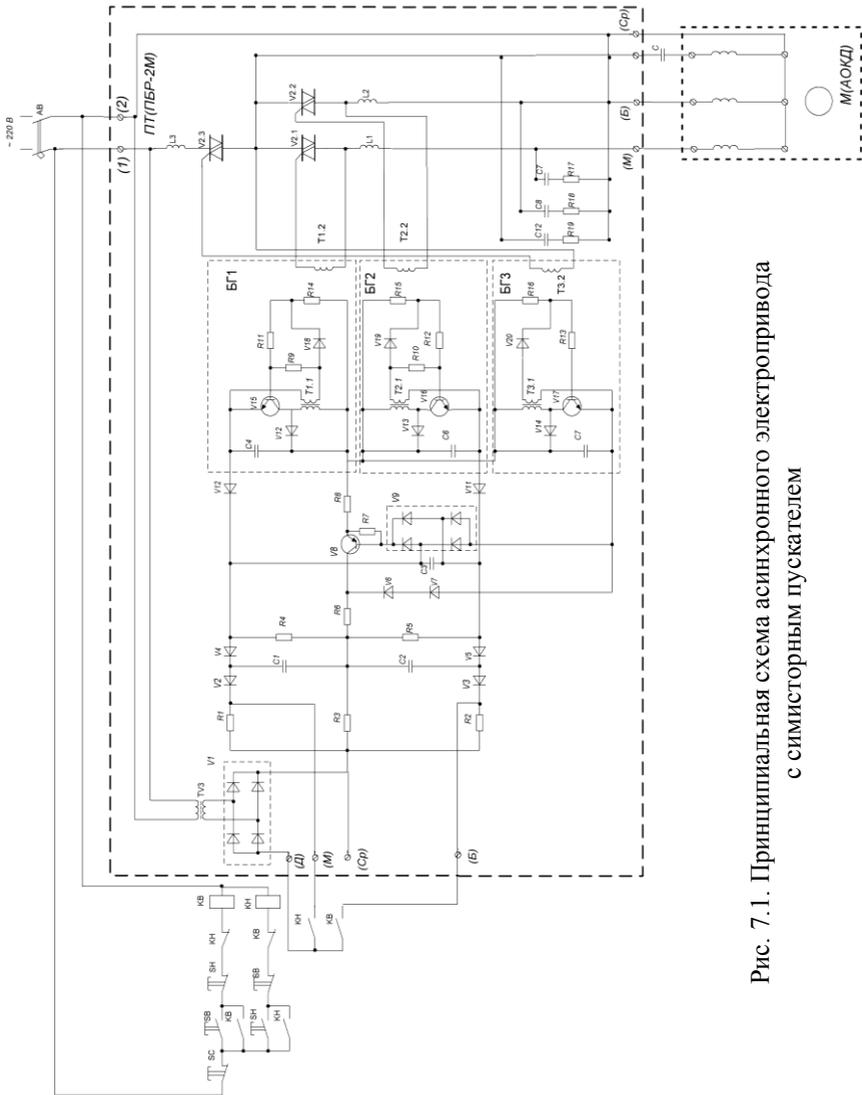


Рис. 7.1. Принципиальная схема асинхронного электропривода с симисторным пускателем

## Содержание отчета

В отчете необходимо привести:

1. цель работы;
2. схему экспериментальной установки;
3. паспортные данные двигателя и аппаратуры управления;
4. анализ работы схемы управления;
5. диаграммы (осциллограммы) скорости и тока якоря при пуске, реверсе и торможении на останов двигателя постоянного тока;
6. индивидуальное задание.

## Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки бесконтактных пускателей?
2. Пояснить работу схемы управления симисторами пускателя.
3. Пояснить принцип действия асинхронного конденсаторного двигателя.
4. Каким образом осуществляется реверс асинхронного конденсаторного двигателя?
5. Назначение стабилитронов V6, V7?
6. Каким образом исключается одновременное включение блокинг-генераторов БГ1 и БГ2?
7. Как работала бы схема управления при одновременном включении симисторов V2.1 и V2.2?
8. Какую функцию выполняет симистор V2.3?
9. В какой последовательности происходит включение и отключение симисторов?
10. Как осуществляется торможение двигателя при реверсе и останове?

## Индивидуальные задания

1. Построить механические статические характеристики электропривода при пуске.
2. Записать уравнение статической характеристики асинхронного конденсаторного двигателя (при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В.
3. Записать логические выражения включения симисторов V2.1, V2.2, V2.3.

4. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 220 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

5. Рассчитать время пуска двигателя при напряжении сети 380 В при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

6. Записать уравнения момента и скорости двигателя при пуске при напряжении сети (а) 220 В; б) 380 В) при реактивном статическом моменте (а-0.1 Мн; б-0.15 Мн; в-0.2 Мн; г-0.25 Мн; д-0.3 Мн).

7. Построить пусковые диаграммы электропривода ( $i_a = f(t)$ ,  $E_a = f(t)$ ).

8. Построить механические характеристики двигателя при напряжении сети: а) 380 В; б) 220 В. Показать на характеристиках режимы работы привода.

9. Построить векторную диаграмму для пусковой обмотки двигателя при напряжении сети: 380 В при а- $C = 0$  мкФ; б- $C = 5$  мкФ; в-  $= 10$  мкФ. Показать на диаграмме напряжение сети и напряжение на пусковой обмотке.

10. Построить векторную диаграмму для пусковой обмотки двигателя при напряжении сети: 220 В при а- $C = 0$  мкФ; б-  $C = 5$  мкФ; в- $C = 10$  мкФ. Показать на диаграмме напряжения сети и напряжение на пусковой обмотке.

11. По принципиальной схеме составить электромонтажную схему (схему соединений) системы управления электроприводом в соответствии с расположением оборудования на лабораторном стенде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зимин, Е.Н. Автоматическое управление электроприводами / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1979.

2. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

3. Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2004 – 527с.

4. Ковчин, С.А. Теория электропривода / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабанин. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000 – 496 с.

5. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / под ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – Т. 1. – 456 с.: ил.

6. Электротехнический справочник: в 4 т. / под общ. ред. В.Г. Герасимова [и др.]. – М.: изд-во МЭИ. – Т. 1, 2.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

#### 1. Принципы управления электроприводами

На рис. П1 изображены графики скорости и тока при пуске асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока с тремя ступенями пускового сопротивления. Для любого момента времени справедливо основное уравнение электропривода:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} . \quad (\text{П1})$$

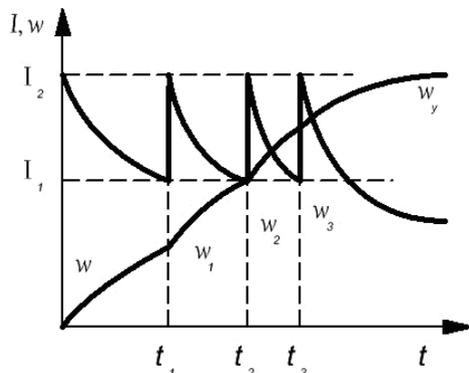


Рис. П1. График скорости и тока при пуске АД и ДПТ с тремя ступенями пускового сопротивления

Здесь  $M$  – вращающий момент двигателя;  $J$  – момент инерции якоря;  $M_c$  – статический момент на валу двигателя;  $\omega$  – скорость вращения якоря двигателя;  $I$  – ток якоря двигателя;  $t$  – время.

Из рассмотрения этих графиков и уравнения следует, что автоматическое выключение ступеней сопротивления должно происходить в определенные моменты времени  $(t_1, t_2, t_3)$ , при определенных скоростях  $(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ , и определенной величине тока  $I_2$ . Очевидно, что управление пуском может осуществляться соответственно по принципам времени, скорости и тока. Принцип времени предполагает, что в электрической схеме имеются контролирующее время аппараты, которые в заданные моменты времени  $(t_1, t_2, t_3)$  дают необходимые сигналы, управляющие выключением сопротивлений.

Принципы скорости и тока предполагают, что электрическая схема автоматически контролирует соответственно скорость или ток двигателя и при заданных их значениях дает сигналы на выключение ступеней сопротивлений. Кроме этих трех принципов на практике используется управление по принципу пути, когда двигатель пускается или тормозится при достижении приводимыми в движение рабочими органами определенного положения в пространстве. Все эти принципы также пригодны для реверсирования, которое по существу является торможением, автоматически переходящим в пуск с изменением направления вращения.

При автоматическом управлении тем или иным технологическим процессом применяются и другие принципы: управление и функции мощности, момента, натяжения, частоты, температуры, цвета, счета операций или деталей и т.п.

## 2. Управление по принципу времени

Пусковые графики на рис. П1 показывают, что закорачивание ступеней пускового сопротивления может происходить через определенные промежутки времени. Очевидно, что первая ступень сопротивления должна быть закорочена через время  $t_1$  после начала пуска, вторая ступень через время  $t_2$  после закорачивания первой и т.п.

Выдержки времени осуществляются при помощи различных реле времени, которые снабжены: маятниковыми или электромагнитными механизмами, магнитный поток в которых возрастает или спадает до заданной величины с замедлением; масляными или воздушными тормозными устройствами; электронными или полупро-

водниковыми устройствами с постепенным зарядом или разрядом конденсаторов; двигательными механизмами, где выдержка времени связана с определенным передаточным отношением редуктора. Современные серийно выпускаемые реле времени могут обеспечить выдержки времени приблизительно от 0,05 до нескольких часов.

Выдержка времени для каждого реле определяется на основании расчета переходного процесса двигателя. Из уравнения (П) можно определить время переходного процесса:

$$t = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J}{M - M_c} d\omega. \quad (\text{П2})$$

Статические характеристики при пуске двигателя постоянного тока с тремя ступенями пускового сопротивления.

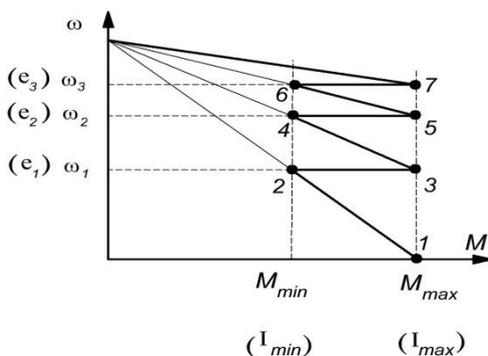


Рис. П2. Статические характеристики при пуске двигателя постоянного тока с тремя ступенями пускового сопротивления

Для любой точки статических характеристик с координатами  $M, \omega$  (рис. П2) при пуске можно записать

$$\frac{M_{\max} - M}{M_{\max} - M_{\min}} = \frac{\omega - \omega_n}{\omega_k - \omega_n};$$

$$\omega = \frac{(\omega_k - \omega_u) \cdot (M_{\max} - M)}{M_{\max} - M_{\min}} - \omega_u;$$

$$d\omega = -\frac{(\omega_k - \omega_u) \cdot dM}{M_{\max} - M_{\min}};$$

$$t = \int_{\omega_u}^{\omega_k} \frac{J \cdot (\omega_k - \omega_u) \cdot dM}{(M_{\max} - M_{\min}) \cdot (M - M_c)}. \quad (\text{ПЗ})$$

Если в интеграле (ПЗ)  $\omega_k$  соответствует  $M_{\min}$ , а  $\omega_u$  соответствует  $M_{\max}$ , то:

$$t = -\frac{J \cdot (\omega_k - \omega_u)}{M_{\max} - M_{\min}} \cdot \ln \frac{1}{M - M_c} \Big|_{M_{\max}}^{M_{\min}} =$$

$$= \frac{J \cdot (\omega_k - \omega_u)}{M_{\max} - M_{\min}} \cdot \ln \frac{M_{\min} - M_c}{M_{\max} - M_c};$$

$$t_i = \frac{J \cdot (\omega_k - \omega_u)}{M_{\max} - M_{\min}} \cdot \ln \frac{M_{\min} \pm M_c}{M_{\max} \pm M_c}. \quad (\text{П4})$$

Домножим числитель и знаменатель на  $c \cdot R_{\Sigma i}$ :

$$t_i = \frac{J \cdot (e_k - e_u) \cdot R_{\Sigma i}}{c^2 \cdot R_{\Sigma i} \cdot (I_{\max} - I_{\min})};$$

$$\begin{cases} U_3 = e_u + I_{\max} \cdot R_{\Sigma i} \\ U_4 = e_k + I_{\min} \cdot R_{\Sigma i} \end{cases}$$

Так как  $U_3 = U_4$  имеем:

$$e_k - e_n = (I_{\max} - I_{\min}) \cdot R_{\Sigma i} \Rightarrow \frac{e_k - e_n}{(I_{\max} - I_{\min}) \cdot R_{\Sigma i}} = 1.$$

Тогда:

$$t_i = \frac{J \cdot R_{\Sigma i}}{c^2} \ln \frac{M_{\min} \pm M_c}{M_{\max} \pm M_c} = T_{Mi} \ln \frac{M_{\min} \pm M_c}{M_{\max} \pm M_c}. \quad (\text{П5})$$

Запишем уравнения равновесия электрической цепи для точек 1–7:

$$\begin{aligned} 1. \quad U &= I_{\max} \cdot R_{\Sigma 1}; \\ 2. \quad U &= e_1 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 1}; \\ 3. \quad U &= e_1 + I_{\max} \cdot R_{\Sigma 2}; \\ 4. \quad U &= e_2 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 2}; \\ 5. \quad U &= e_2 + I_{\max} \cdot R_{\Sigma 3}; \\ 6. \quad U &= e_3 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 3}; \\ 7. \quad U &= e_3 + I_{\max} \cdot R_e. \end{aligned} \quad (\text{П6})$$

Из (П2)–(П7) следует:

$$\begin{aligned} e_1 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 1} &= e_1 + I_{\max} \cdot R_{\Sigma 2}; \\ \frac{I_{\max}}{I_{\min}} &= \frac{M_{\max}}{M_{\min}} = \frac{R_{\Sigma 1}}{R_{\Sigma 2}} = \frac{R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 3}} = \frac{R_{\Sigma 3}}{R_e} = \lambda; \\ R_{\Sigma 3} &= \lambda \cdot R_e; \\ R_{\Sigma 2} &= \lambda^2 \cdot R_e; \\ R_{\Sigma 1} &= \lambda^3 \cdot R_e; \end{aligned} \quad (\text{П7})$$

$$R_{\Sigma 1} = \frac{U}{I_{\max}} \Rightarrow \frac{U}{I_{\max} R_e} = \lambda^{3(n)}, \quad (\text{П8})$$

где  $n$  – количество искусственных характеристик.

Тогда количество ступеней рассчитывается:

$$n = \log_{\lambda} \frac{U}{I_{\max} R_e}$$

и округляется до ближайшего большего целого числа.

Из (П1)–(П6) следует:

$$\begin{aligned} I_{\max} \cdot R_{\Sigma 1} &= e_1 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 1}; \\ \Delta e_1 &= e_1 = (I_{\max} - I_{\min}) \cdot R_{\Sigma 1}; \\ e_1 + I_{\max} \cdot R_{\Sigma 2} &= e_2 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 2}; \\ \Delta e_2 &= e_2 = (I_{\max} - I_{\min}) \cdot R_{\Sigma 2}; \\ e_2 + I_{\max} \cdot R_{\Sigma 3} &= e_3 + I_{\min} \cdot R_{\Sigma 3}; \\ \Delta e_3 &= e_3 = (I_{\max} - I_{\min}) \cdot R_{\Sigma 3}; \\ \frac{e_1}{e_2} = \frac{e_2}{e_3} = \dots &= \frac{R_{\Sigma 1}}{R_{\Sigma 2}} = \frac{R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 3}} = \frac{R_{\Sigma 3}}{R_e} = \lambda; \end{aligned} \quad (\text{П9})$$

$$t_i = T_{Mi} \ln \frac{M_{\min} \pm M_c}{M_{\max} \pm M_c};$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{t_2}{t_3} = \dots = \frac{T_{M1}}{T_{M2}} = \frac{T_{M2}}{T_{M3}} = \dots = \frac{R_{\Sigma 1}}{R_{\Sigma 2}} = \frac{R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 3}} = \dots = \lambda. \quad (\text{П10})$$

$$\text{Из } \frac{R_{\Sigma 1}}{R_{\Sigma 2}} = \lambda = \frac{R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 3}} = \frac{R_{\Sigma 3}}{R_e};$$

$$\lambda = \frac{R_{\Sigma 3} + R_e}{R_e}; \quad R_{\Sigma 3} = (\lambda - 1) \cdot R_e;$$

$$\lambda = \frac{R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 3}} = \frac{R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 3}}{R_{\Sigma 3}} \Rightarrow R_{\Sigma 2} = (\lambda - 1)^2 \cdot R_e;$$

$$R_{\Sigma 1} = (\lambda - 1)^3 \cdot R_e. \quad (\text{П11})$$

При  $M_c$  и  $J = \text{const}$  в пределах изменения скорости от  $\omega_1$  до  $\omega_2$  будем иметь:

$$t_{1,2} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_1 - M_2} \ln \frac{M_1}{M_2}.$$

Обозначая собственное время срабатывания контактора или реле –  $t_{cp}$  для определения уставок реле времени получаем выражение:

$$t_{ycm} = t_{1,2} - t_{cp}.$$

В схемах постоянного тока широкое распространение получили электромагнитные реле времени. На рис. ПЗ, а схематически показано устройство такого реле. Когда управляющий контакт УК разомкнут, через катушку 5 реле протекает ток, и якорь 3 реле притянут к его сердечнику 4, как показано тонкой линией. Для получения выдержки времени необходимо замкнуть контакт УК. При этом магнитное поле катушки, образованное протекавшим через нее током, исчезая, наводит в витках катушки ЭДС. самоиндукции. Под ее действием в замкнутом контуре, образованном катушкой и контактом УК, потечет ток. Этот ток будет замедлять уменьшение магнитного потока, и якорь реле некоторое время удерживается в притянну-

том положении. Величина тока, протекающего в указанном контуре, непрерывно уменьшается, и через некоторое время якорь реле под действием сжатой пружины I отпадает, вызывая размыкание одного контакта и замыкание другого. Уставку реле регулируют изменением сжатия пружины I посредством гайки 2.

Для исключения прилипания якоря к сердечнику вследствие остаточного магнетизма к якорю прикрепляют тонкую пластину из немагнитного материала, толщину которой можно изменять, меняя тем самым магнитный поток системы при притяннутом якорю. При этом также изменяется уставка реле. Чем толще пластина, тем меньше выдержка времени.

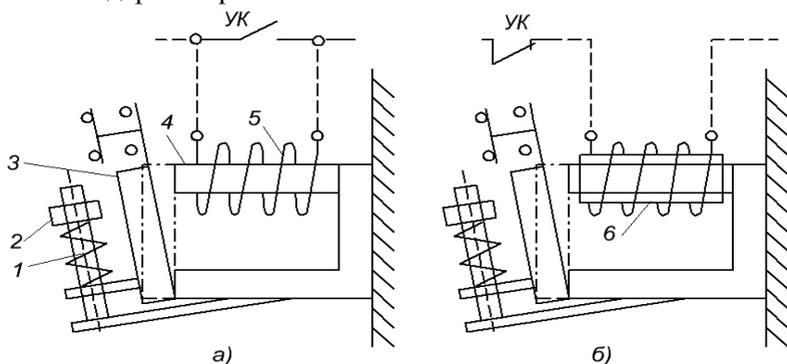


Рис. ПЗ. Электромагнитные реле времени

Если замыкание катушки в схеме нежелательно, применяют электромагнитное реле с демпфером. Отличие этого реле от рассмотренного выше, заключается в том, что его катушка намотана на толстостенную медную трубку (демпфер) 6, служащую каркасом катушки. Управляющий контакт УК включается последовательно с катушкой (рис. ПЗ) медной трубке электродвижущую силу. В трубке, представляющей собой замкнутый контур, возникает ток, удерживающий якорь во втянутом состоянии. Магнитный поток, как и ток в трубке, постепенно затухает, и при достаточном его уменьшении якорь реле отпадает. Вследствие размагничивающего действия демпфера время включения этого реле больше, чем у электромагнитного реле без демпфера.

Электромагнитные реле времени обеспечивают выдержки времени до 5–12 с в зависимости от конструктивного исполнения.

Электромагнитное реле времени можно использовать в цепях переменного тока, питая их через полупроводниковые выпрямители.

Использование электромагнитных реле времени позволяет легко сочетать силовые цепи и цепи управления, что дает возможность уменьшить количество блок-контактов. Такое сочетание силовой цепи и цепей управления показано на рис. П4, *а*. Здесь обеспечивание катушек электромагнитных реле времени РУ1, РУ2 и начало отсчета выдержки времени осуществляется закорачиванием их при помощи силовых контактов ступеней пускового реостата.

Недостатком такой схемы включения является наличие только одного разрыва в цепи якоря, так как включение контакта Л с другой стороны якоря лишило бы реле РУ1, РУ2 питания перед началом пуска. Устранить этот недостаток можно, включив обмотки реле РУ1, РУ2 по схеме, приведенной рис. П4, *б*. При этом необходимо использовать дополнительно по одному блок-контакту контактов Л, У1 для включения в цепи обмоток реле РУ1, РУ2.

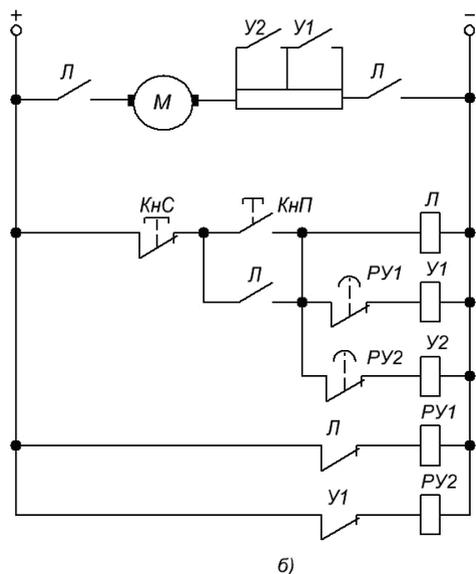
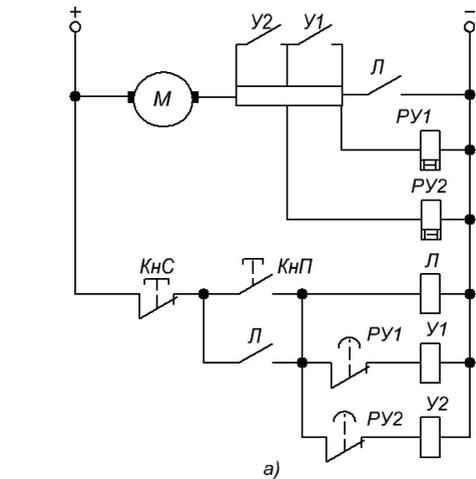


Рис. П4. Электрические схемы автоматического управления двигателем  
 Принцип времени успешно используется и при управлении схемами динамического торможения. На рис. П5 представлены типовые узлы электрической схемы автоматического управления двигателем параллельного возбуждения, обеспечивающие динамическое тор-

можение. Здесь же даны механические характеристики и кривые тормозного тока и скорости двигателя при торможении.

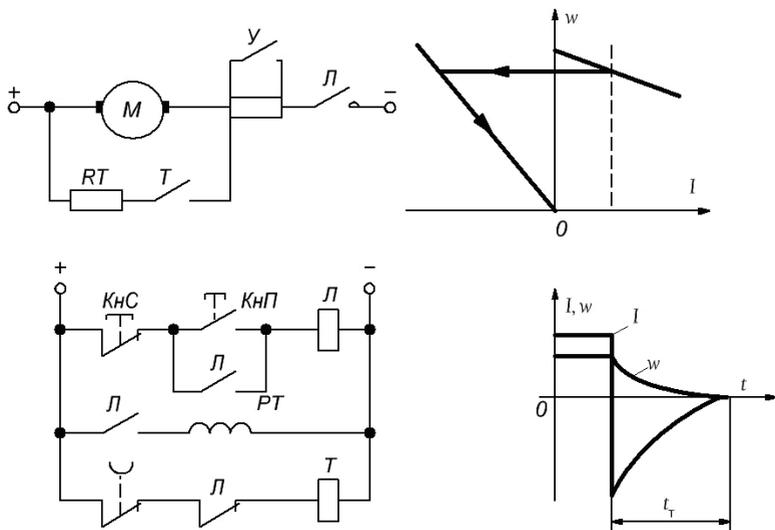


Рис. П5. Типовые узлы электрической схемы автоматического управления двигателем параллельного возбуждения

Предположим, что двигатель работает с установившейся скоростью. Тогда контакторы Л и У включены и реле торможения РТ замкнуло свой контакт, однако катушка тормозного контактора Т не обтекается током, так как в ее цепи разомкнут размыкающий блок-контакт контактора Л.

Для динамического торможения нажимается кнопка КНС, отключающая контактор Л, который своим главным контактом отключает двигатель от сети. Замыкающий блок-контакт контактора Л размыкает цепь катушки РТ, и оно начинает отсчет выдержки времени торможения. Размыкающий контакт контактора Л замыкает цепь катушки контактора Т. Последний включается и замыкает якорь двигателя на тормозное сопротивление РТ, что необходимо для начала динамического торможения. Уставка реле РТ должна быть приблизительно равна или немного превосходить время торможения  $t_T$ .

Преимуществами управления пуском, торможением и реверсом по принципу времени являются примерные постоянство времени пуск, торможения и реверса даже при значительных изменениях момента статического сопротивления, момента инерции, напряжения питающей сети, температуры катушек ряда электромагнитных реле времени и пусковых сопротивлений, а также простота и надежность.

Влияние изменений сопротивлений катушек реле на ход автоматического пуска может быть в зависимости от типов примененных реле как значительным, так и малым. Нагрев, например, катушек электромагнитных реле серии РЭ-100 без гильз (демпферов) практически не влияет на величину выдержек, так как эти реле имеют значительный запас по намагничивающей силе и магнитный поток насыщенного сердечника уменьшается всего на 5% при уменьшении н.с. на 50%. Нагрев же реле РЭ-500 или РЗ-180 с гильзой на величину выдержки времени влияет существенно, так как эти реле имеют значительно меньший запас по н.с. Значит, по мере нагрева катушек реле времени этого типа их выдержки времени сокращаются, а динамические моменты при пуске возрастают.

Изменение величины пусковых сопротивлений при их нагревании может влиять на процесс пуска, особенно для чугунных сопротивлений.

Если расчет пусковых сопротивлений выполнен без учета их нагревания, то динамические моменты при холодных сопротивлениях будут расчетными. При пуске же с нагретыми сопротивлениями (фехраль, нихром, чугун) динамические моменты в начале пуска уменьшаются, а к концу возрастут, превысив расчетные.

Рассмотренное влияние отклонений параметров на процессе пуска относится также к процессам пуска, торможения и реверса двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением.

Положительным моментом управления по принципу времени является также возможность применения для управления пуском и торможением двигателей различной мощности одностипных, достаточно надежных и серийно изготавливаемых реле времени. Все это привело к тому, что управление по принципу времени получило наибольшее распространение в промышленности.

Недостатком управления по принципу времени является возможность значительного возрастания толчков пускового тока и момента» при соответствующем увеличении статического момента или момента инерции на валу двигателя.

### **3. Управление по принципу скорости**

Управление по принципу скорости требует контроля скорости с последующим автоматическим воздействием на соответствующий аппарат управления. Скорость можно контролировать при помощи центробежных реле, однако в схемах управления пуском двигателей они применяются сравнительно редко. Объясняется это сложностью их конструкций, высокой стоимостью, недостаточной точностью и надёжностью работы. Можно измерять скорость электрическим путем при помощи тахогенераторов, соединенных с валом двигателя. Однако и этот вариант для простой схемы управления не считается достаточно экономичным и надежным. В таких схемах скорость двигателя успешно контролируется косвенным путем: через его ЭДС – для машин постоянного тока или через ЭДС и частоту тока в роторе – для асинхронных и синхронных машин.

Контролировать скорость двигателя постоянного тока через его ЭДС можно благодаря тому, что при постоянном магнитном потоке в якоре возникает ЭДС, пропорциональная скорости. Катушка контакторов или реле ускорения можно включать на напряжение якоря, превосходящее ЭДС, только на величину падения напряжения в якоре.

При определенных значениях напряжения срабатывают поочередно контакторы ускорения, постепенно закорачивая ступени пускового сопротивления. На рис. Пб изображен узел электрической схемы автоматического пуска двигателя постоянного тока параллельного или независимого возбуждения, работающий по принципу скорости.

Каждый из контакторов ускорения, включенных в схему, настроен на определенное значение напряжения втягивания. Пуск двигателя начинается после включения линейного контактора Л. В начале пуска напряжение на катушках контакторов маю и равно падению напряжения на якоре. По мере увеличения скорости элек-

тродвигателя его ЭДС возрастает. При определенной скорости  $\omega_1$ , напряжение на зажимах катушки контакторов равно:

$$U_{y1} = c_e \omega_1 + I_2 r_{я}.$$

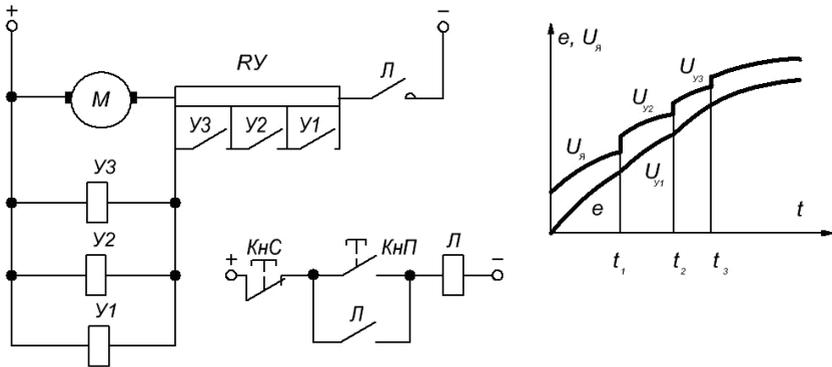


Рис. Пб. Узел электрической схемы автоматического пуска ДПТ параллельного или независимого возбуждения, работающий по принципу скорости

Если оно достигает напряжения втягивания, то контактор У1 закорачивает первую ступень пускового сопротивления R1.

В таком же порядке происходит закорачивание второй и третьей ступеней пускового сопротивления при скоростях ( $\omega_1$  и  $\omega_2$ ). После закорачивания всего пускового сопротивления пуск заканчивается, и двигатель работает согласно естественной характеристике.

Достоинства узла схемы на рис. Пб состоят в его простоте и дешевизне, так как здесь отсутствуют реле. Недостатки состоят в том что, во-первых, практически двигатель пускается в различных условиях, что меняет скорости, при которых закорачиваются сопротивления. Например, сопротивления катушек в холодном и горячем состояниях при перегревах  $\tau = 0$  и  $\tau = 50$  °С могут относиться друг к другу, как 100% к  $100(1 + \alpha\tau)\% = 100(1 + 0,004 \cdot 50) = 120\%$ . Это приведет к тому, что при нагретых катушках срабатывание контакторов будет происходить при значительно больших скоростях. Во-вторых, к недостаткам узла следует отнести изменение

скоростей переключения ступеней пускового сопротивления и бросков тока при колебаниях подводимого к двигателю напряжения.

В-третьих, недостатком этого узла является значительное различие напряжений втягивания контакторов ускорения, требующее различной регулировки контакторов или даже различного исполнения их катушек. Последний недостаток можно частично устранить, если к зажиму якоря присоединить лишь одни концы катушек контакторов У1–У3, а другие – к различным точкам пускового сопротивления. При этом напряжения втягивания контакторов ускорения становятся более близкими друг к другу.

Контроль скорости через ЭДС нашел некоторое применение, например, в схемах автоматического пуска электроприводов нажимных устройств прокатных станов. Значительно большее применение он имеет при автоматическом управлении торможением.

На рис. П7 приведен узел схемы управления двигателем небольшой мощности с независимым возбуждением. При нажатии кнопки КнП включается контактор Л. Двигатель подключается к сети через пусковое сопротивление РУ и начинает разгоняться. В нужный момент включается контактор У, управление которым принципиально может производиться по любому из рассматриваемых принципов. При нажатии кнопки КнС отключается контактор Л, включаются реле РТ и контактор Т. Начинается динамическое торможение. Тормозной момент машины будет снижаться в этой схеме прямо пропорционально скорости двигателя, при низкой скорости величина ЭДС, станет равной напряжению отпущения реле динамического торможения РТ. Последнее откроет свой контакт в цепи катушки контактора Т, контактор отключится и дальнейшее замедление будет происходить под действием статического момента.

Большое практическое значение имеет вопрос правильного выбора реле динамического торможения. Если исходить из необходимости получения минимального времени торможения при известных РТ и  $M_c$ , то реле должно иметь минимальный коэффициент возраста. В этом случае, например, целесообразно выбирать реле типа РЭ-100, которое может быть настроено на отпадание при напряжении  $0,1 - 0,15 U_n$ , где  $U_n$  – номинальное напряжение.

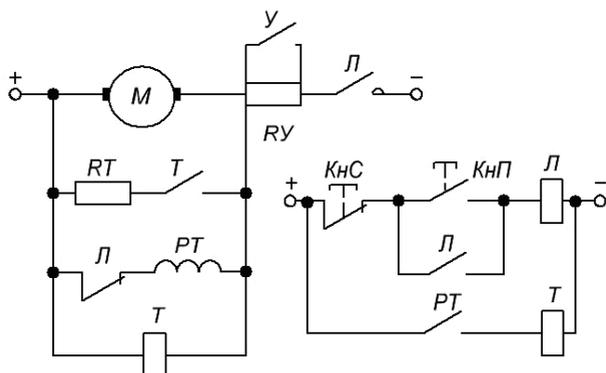


Рис. П7. Узел схемы управления двигателем с независимым возбуждением

Рассмотрим принципы управления ступенью противовключения при торможении двигателей постоянного тока, принципиальная схема узла противовключения показана на рис. П8, а. Известно, что при торможении противовключением напряжение сети суммируется с ЭДС двигателя и поэтому к пусковым сопротивлениям  $R_Y$  добавляется последовательно соединенная с ними ступень противовключения  $R_P$ . Эта ступень обычно закорачивается контактором противовключения  $\Pi$ .

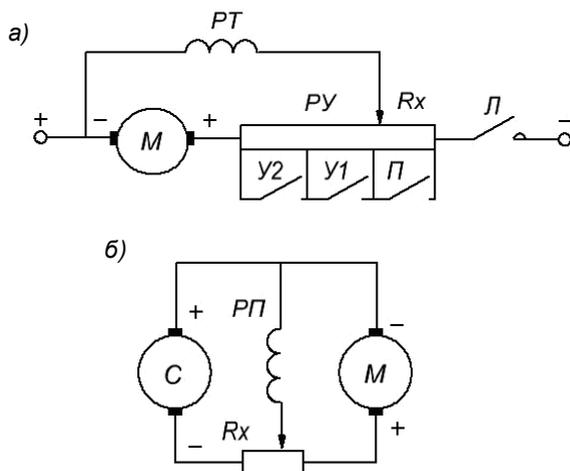


Рис. П8. Принципиальная схема узла противовключения

Роль реле противовключения в схеме на рис. П8, *a* заключается в том, чтобы при определенной скорости, близкой к нулю, дать импульс на прекращение торможения и закорачивание ступени противовключения.

Напряжения на катушке реле противовключения:

$$U_{PI} = U_H - iR_X.$$

Ток двигателя при противовключении:

$$i = \frac{U_H + E}{R} = \frac{U_H + K_e \Phi \omega}{R}.$$

Из этих уравнений получаем выражение для напряжения на катушке реле противовключения  $U_{PI}$ :

$$U_{PI} = U_H - (U_H - K_e \Phi \omega) \frac{R_X}{R}.$$

Для двигателя независимого и параллельного возбуждения величины  $U_H$ ,  $R$  и  $\Phi$  постоянны, и получается прямолинейная зависимость  $U_{PI}$  от  $\omega$ .

Семейство характеристик  $U_{PI}(\omega)$  для различных точек присоединения реле, т.е. для разных  $R_X$ , представлено на рис. П9. Характеристики сходятся в одной точке, отвечающей идеальному холостому ходу ( $-\omega_0$ ), так как при этой скорости ток в силовой цепи равен нулю, и, следовательно, нет падения напряжения в сопротивлении. Это видно непосредственно из приведенных уравнений.

Если вместо  $\omega$  подставить значение  $-\omega_0 = -\frac{U_H}{C_e} = -\frac{U_H}{K_e \Phi}$ , то

$U_{PI} = U_H$  при любых значениях  $R_X$ , а это значит, что координаты точки пересечения характеристик есть  $-\omega_0$  и  $U_H$ .

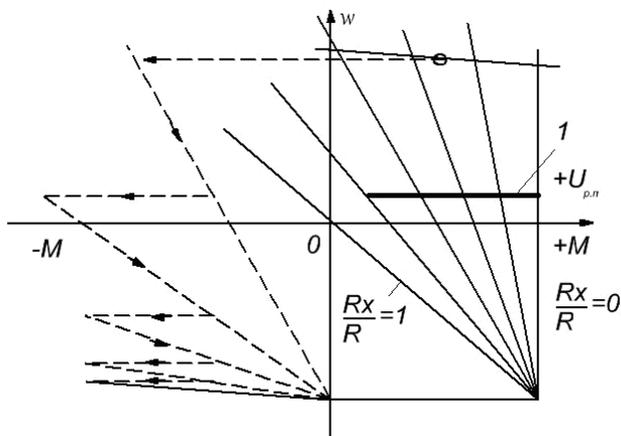


Рис. П9. Характеристика напряжения на реле противовключения

Для надежной работы реле противовключения полагают, что в начале торможения (при максимальной скорости) напряжение на реле противовключения должно быть равно нулю. Возможность отсутствия напряжения на катушке реле РП можно наглядно объяснить, воспользовавшись схемой (рис. П8, б), на которой сеть представлена в виде машины С, не имеющей внутреннего сопротивления. Катушка РП включена в диагональ моста и, следовательно, при заданных ЭДС сети и двигателя всегда можно выбрать такую точку присоединения реле РП, чтобы напряжение на катушке равнялось нулю. Поэтому у:

$$U_{РП} = U_H - I_D R_{Я} = 0.$$

Отсюда:

$$R_x = \frac{U_H}{I_D}.$$

Допустимый максимум тока:

$$I_D = \frac{U_H + E_M}{R}.$$

Подстановкой в предыдущее выражение получается расчетное уравнение:

$$R_X = R \frac{U_H}{U_H + E_M}.$$

Для двигателей независимого и параллельного возбуждения во многих случаях  $U_H = E_M$ , при этом  $R_X = 0,5R$ .

Из условий надежности работы принимают, что напряжение втягивания реле противовключения должно быть на 15–20% меньше напряжения на реле при неподвижном якоре двигателя

$$U_{рп.вт} = 0,8U_{рп0}.$$

Если принять  $\omega = 0$  и  $R_X = 0,5R$ , то  $U_{рп0} = 0,5U_H$

Следовательно, напряжение втягивания выражается формулой:

$$U_{рп.вт} = 0,8 \cdot 0,5U_H = 0,4U_H.$$

Изменения напряжения на реле противовключения при реверсе показаны на рис. П9 ломаной линией I. Очевидно, что реле противовключения нужно выбирать на номинальное напряжение двигателя и настраивать так, чтобы напряжение втягивания составляло  $0,4U_H$ .

В отличие от принципа времени все рассмотренные выше отклонения от расчетных  $M_c$ ,  $J$ ,  $U_H$ ,  $r_{реле}$  при управлении по принципу скорости влияют на продолжительность пуска и торможения.

Достоинствами узлов схем, работающих по принципу скорости, являются их простота и дешевизна. Недостатки их состоят в зависимости времени пуска и торможения от величины статического момента, момента инерции, напряжения питающей сети, температуры сопротивлений и катушек. К недостаткам можно отнести также возможность задержки процесса пуска на промежуточной скорости вращения и перегревания пусковых сопротивлений, а также трудность настройки контакторов на разные напряжения втягивания.

#### 4. Управление по принципу тока

На рис. П2 видно, что ток при пуске двигателя изменяется от значения  $I_1$  до  $I_2$ . Можно создать автоматическое устройство, которое будет закорачивать ступени пускового сопротивления при токе переключения  $I_2$ . Аппаратом, дающим импульс на закорачивание сопротивления, здесь может являться как контактор, имеющий токовую обмотку, так и токовое реле.

Узел такой схемы (рис. П10) дан применительно к управлению двигателем последовательного возбуждения постоянного тока. После замыкания контакта линейного контактора Л в главной цепи начинает протекать пусковой ток, постепенно уменьшающийся от значения  $I_1$ . Реле ускорения РУ имеет токовую катушку и срабатывает в начале пуска, размыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора ускорения. Ток втягивания этого реле меньше тока  $I_1$  а ток отпущения равен току переключения  $I_2$ . В цепь катушки контактора ускорения У включен замыкающий контакт блокировочного реле РБ выбирается большим или равным собственному времени включения реле ускорения РУ. Контакт реле РУ закорачивается контактом контактора У. Следовательно, при втором броске пускового тока контактор У остается включенным.

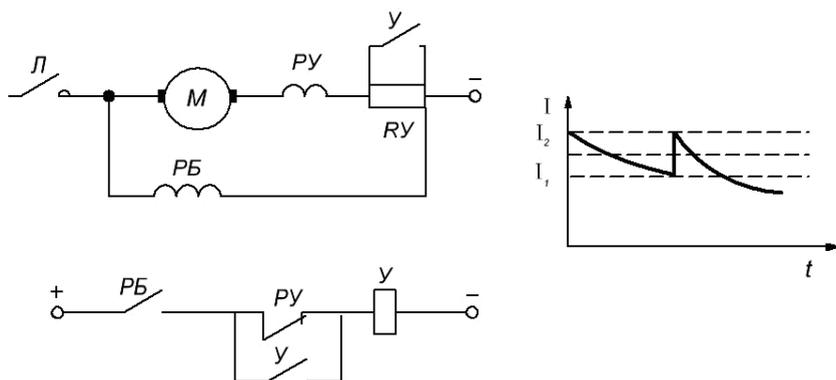


Рис. П10. Узел схемы управления двигателем с последовательным возбуждением

Принцип тока нашел довольно широкое применение при управлении полем двигателя независимого возбуждения в режимах автоматического пуска, торможения и реверсирования.

Принцип тока применим также при пуске и торможении асинхронных электродвигателей. Узел схемы автоматического торможения противовключением двигателя с контактными кольцами представлен на рис. П11.

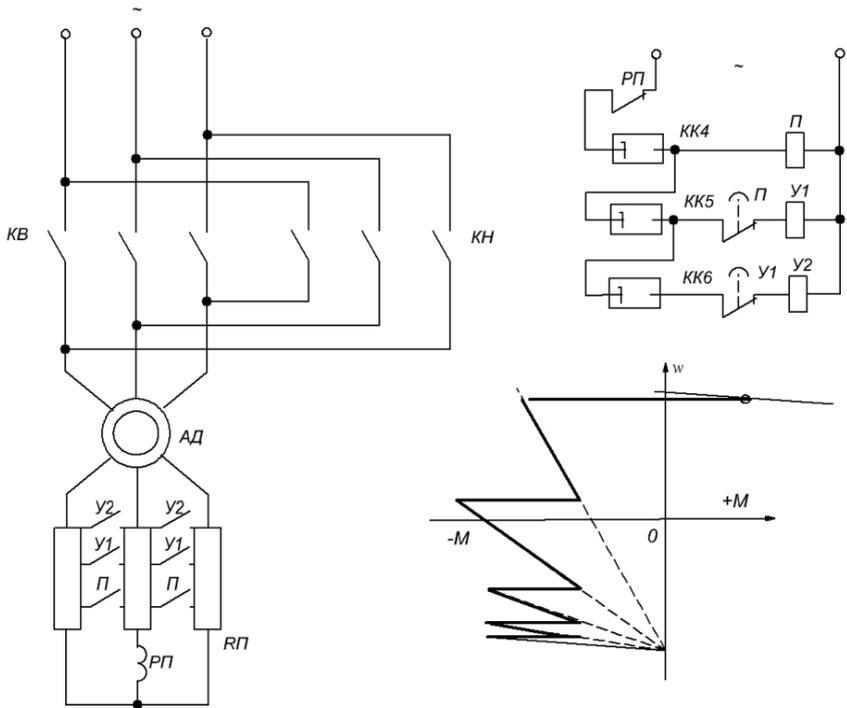


Рис. П11. Узел схемы автоматического торможения противовключением двигателя

Если, например, был включен контактор В, а затем включается контактор Н, то командоконтроллер в крайнем левом положении должен иметь замкнутым свои контакты КК4, КК5, КК6. Однако контактор противовключения П в первый момент включиться не может, так как реле противовключения РП замыкает свой контакт и

лишает питания весь изображенный узел схемы управления. Происходит торможение противовключением.

Реле РП замкнет свой контакт после того, как ток в роторе спадет до тока переключения  $I_2$ . Это приведет к включению контактора П, который закортит сопротивление противовключения РП. Затем будет осуществляться пуск в обратную сторону по принципу времени при помощи встроенных в контакторы маятниковых реле времени.

Достоинством принципа тока можно считать поддержание момента двигателя на определенном уровне, а также отсутствие зависимости процесса пуска и торможения от температуры катушек, реле. Однако принцип тока не обеспечивает постоянства времени пуска и торможения. Отклонения от расчетных значений  $M_c$  и  $U_H$  приводят соответственно к отклонениям динамического момента. При чрезмерном возрастании  $M_c$  возможно «застревание» процесса пуска на одной из промежуточных искусственных характеристик и перегревание пусковых сопротивлений.

## **5. Главные цепи релейно-контакторных систем автоматического управления**

### Главные цепи двигателей постоянного тока

Пуск двигателей постоянного тока даже в самых простых случаях следует осуществлять так, чтобы токи якоря не превышали номинальный ток больше, чем в 2–3 раза. Такое ограничение определяется стремлением защитить от повреждений коллектор и щетки, которые вследствие больших пусковых токов в условиях ухудшенной коммутации не должны недопустимо перегреваться и подгорать. Существуют еще и дополнительные условия, снижающие этот предел, например, в случаях, когда требуется выдержать заданные ускорения, если механизм допускает только небольшие толчки момента, либо система электропривода обладает большим приведенным к валу двигателя моментом инерции и др.

Поэтому только для сравнительно небольших серийных машин мощностью до 5 кВт с малыми моментам инерции на валу возможен пуск непосредственным подключением к питающей сети. Это

объясняется тем, что малые машины обладают меньшей кратностью момента и током короткого замыкания.

На рис. П12 показаны три практически встречающихся узла схем соединения пусковых сопротивлений и контакторов для двигателей постоянного тока смешанного возбуждения средней и большой мощности, пуск без которых без сопротивлений невозможен. Эти же схемы применяются для двигателей независимого и последовательного возбуждения. Три ступени пускового сопротивления показаны здесь условно. Число их может быть отличным от трех.

В схеме на рис. П12, *а* все контакторы должны быть одной величины, так как в длительном режиме по их контактам протекает один и тот же ток якоря. Приваривание контактов любого из контакторов ускорения в такой схеме не вызывает включения двигателя без пусковых сопротивлений при последующем его пуске. Схема применяется для двигателей мощностью приблизительно до  $P_n = 150$  кВт и напряжением до  $U_H = 220$  В при небольшом числе ступеней пускового сопротивления.

В схеме на рис. П12, *б* для длительного режима работы можно выбирать контакторы Л2, Л и У2 меньшей величины, чем контакторы Л1 и У3, контакты которых длительно обтекаются током. При повторно-кратковременных режимах такая рекомендация неправомерна, так как при включении любого контактора по его главному контакту протекает ток, эквивалентное значение которого может быть близким к эквивалентному тону якоря двигателя. В этой схеме контакторы Л2, У1 и У2 по окончании пуска можно отключать. Приваривание контакта контактора У3 в состоянии вызвать в схеме на рис. П12, *б* пуск без сопротивления в якоря и привести к аварийному отключению и даже повреждению двигателя. Для предотвращения этой опасности следует использовать размыкающий блок-контакт контактора У3 (или даже всех контакторов ускорения), заперщяющий повторный пуск двигателя, если этот контактор не отключится. Эта схема рекомендуется для мелких и средних двигателей (до  $P_n \sim 300$  кВт и  $U_H \sim 220$  В). Для двигателей малой мощности она дает эффект в тех случаях, когда вместо части контакторов ускорения удастся использовать реле управления. Для двигателей средней мощности она должна применяться при многоступенчатом пуске, при котором уменьшение величин контакторов ускорения

существенно сказывается на стоимости установки. Для повторно-кратковременных и кратковременных режимов работы схему на рис. П12, б применять не следует, так как уменьшения габаритов контакторов в этих режимах не произойдет, с надежностью из-за возможности приваривания контакторов снижается.

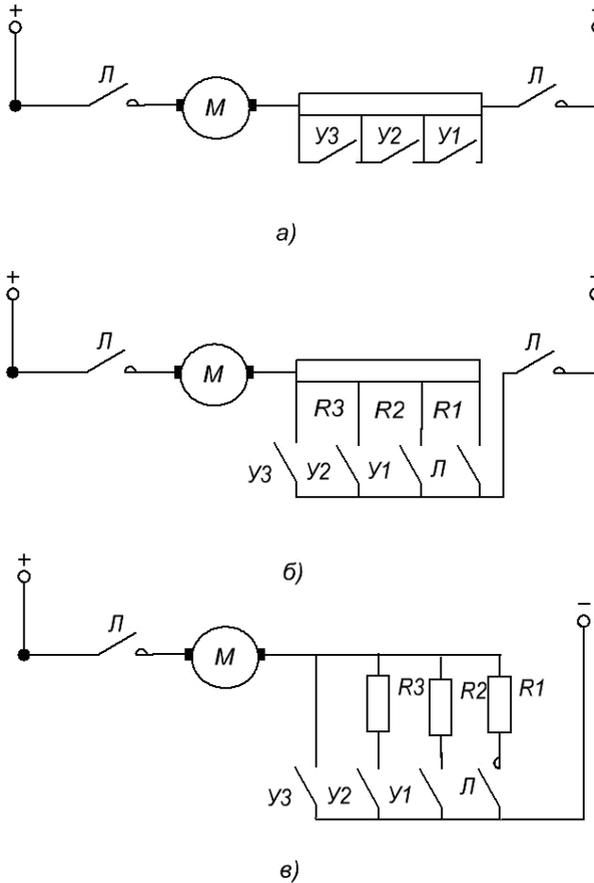


Рис. П12. Соединения пусковых сопротивлений

В схеме на рис. П12, в для длительного режима работы контакторы Л2, У1, У2 также могут выбираться меньших габаритов. Контактры У1 и У2 могут быть выбраны меньшими, чем в схеме на

рис. П12, б; даже при повторно-кратковременном режиме работы, так как они пропускают только часть якорного тока. Выяснено, что стандартные ящики сопротивлений в схеме на рис. П12, в попользуются хуже, чем в двух предыдущих, особенно для мелких двигателей. Электрическая блокировка, предохраняющая от пуска с короточенными пусковыми сопротивлениями, здесь также необходима, как в схема на рис. П12, б.

Контакторы Л2, У1 и У2 по окончании пуска могут отключаться. Схема на рис. П12, в применяется для двигателей средней и большой мощности (от  $P_n = 150$  кВт и выше и  $U_n = 220$  В). Она дает экономиию на контакторах для средних двигателей при большом количестве пусковых сопротивлений и повторно-кратковременном режиме работы. Для крупных двигателей этой схеме следует отдавать предпочтение при любых режимах работы, ибо экономия на контакторах оказывается значительной.

### Роторные цепи асинхронных двигателей

Автоматический пуск двигателей с контактными кольцами обычно производится с последовательным закорачиванием отдельных степеней сопротивлений, контактами контакторов. В автоматизированных электроприводах применяются узлы схем включения сопротивлений и контакторов, показанные на рис. П13. Эти узлы применяются для двигателей малой, средней и большой мощности, имеющих номинальный ток ротора до 900 А. Узел схему на рис. П13, а имеет наибольшее распространение потому, что он требует минимального количества контактов контактора и отличается простотой монтажа.

Узел схемы на рис. П13, б обеспечивает при отклонении контакторов У1 и У2 размыкание любой цепи двумя контактами. Количество контактов здесь возрастает на 50%, Монтаж усложняется незначительно. Схема применяется редко преимущественно при сравнительно высоких напряжениях в роторе.

Узел схемы на рис. П13, в также требует увеличения на 50% числа контактов контакторов в сравнении с узлом на рис. П13, а. Однако здесь через каждый контакт протекают меньшие токи по сравнению с токами в двух предыдущих узлах. Монтаж узла схемы более сложен. Применение этого узла можно рекомендовать лишь в том случае, если он позволит уменьшить размеры контакторов и

снизить стоимость панели управления. Последний узел обладает повышенной надежностью. Вследствие того, что каждые две точки сопротивления соединяются в две параллельные цепи.

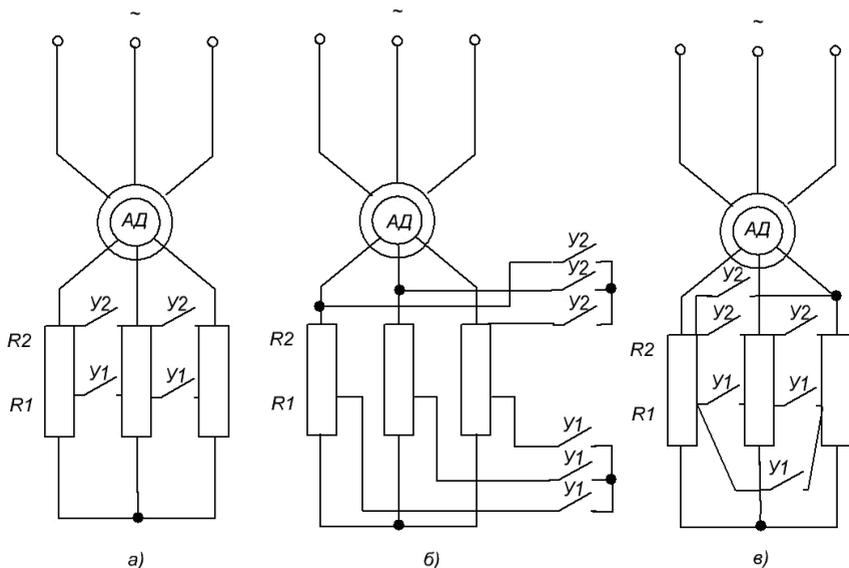


Рис. П13. Узлы схем включения сопротивлений и контакторов

В рассматриваемых схемах при длительном режиме работы двигателя и редких пусках и реверсах для переключения промежуточных ступеней могут быть применены контакторы меньшей величины по сравнению с последним (У2). Можно также соединять контакты последнего контактора по схеме треугольника (рис. П13, в), а остальные – по схеме на рис. П13, а, выбирая контакторы одного и того же размера. Если роторный ток двигателя находится в пределах 900–1800 А, то в роторе применяются две одинаковые параллельно включенные схемы сопротивлений.

## 6. Асинхронные однофазные конденсаторные двигатели

Большинство асинхронных двигателей малой мощности выполняется однофазными. Обычно в статоре помещаются две обмотки - рабочая и вспомогательная, или пусковая, так как одна обмотка не развивает начального вращающего момента при пуске.

В цепь рабочей обмотки постоянно включен конденсатор для создания вращающегося магнитного поля (рис. П14).

Однофазные асинхронные двигатели со вспомогательной обмоткой в статоре разделяются на следующие типы:

- однофазные конденсаторные двигатели – с постоянно включенным в рабочую или вспомогательную обмотку конденсатором;
- однофазные двигатели с конденсаторным пуском, т.е. с включением конденсатора во вспомогательную обмотку только на время пуска;
- однофазные двигатели с реостатным пуском, т.е. с включением добавочного активного сопротивления во вспомогательную обмотку на время пуска;
- однофазные двигатели с расщепленными или экранированными полюсами.

Первые три типа однофазных асинхронных двигателей выполняются с двумя отдельными распределенными обмотками в статоре, а четвертый тип – с явнополюсным статором, с сосредоточенной обмоткой и короткозамкнутым кольцом на полюсах.

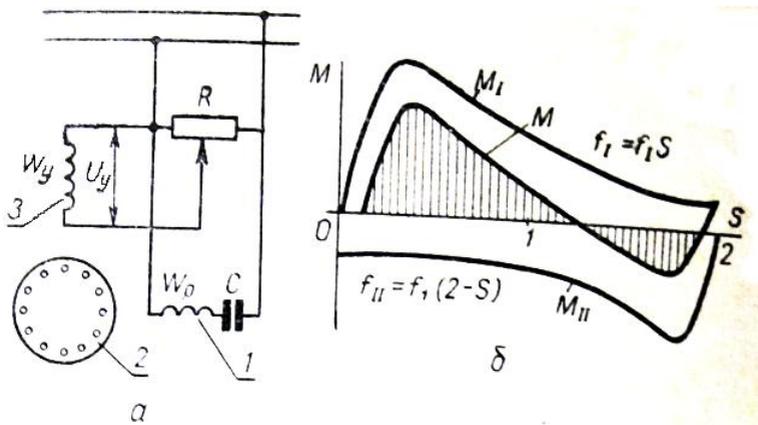


Рис. П14. Схема однофазного конденсаторного управляемого электродвигателя (а) и его механическая характеристика (б):  
 1 – рабочая обмотка, в цепь которой включен конденсатор;  
 2 – короткозамкнутый ротор; 3 – вспомогательная обмотка

## 7. Схемы соединений (Э4)

Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии.

Схема соединений составляется на основании принципиальной схемы, на которой все элементы изображают условными графическими обозначениями в соответствии со стандартами и им присваиваются условные буквенно-цифровые позиционные обозначения. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле, приборов, машин, резисторами и другими элементами должны иметь различную маркировку. На рис. П15 показан пример маркировки силовых цепей переменного тока и цепей управления на принципиальной схеме.

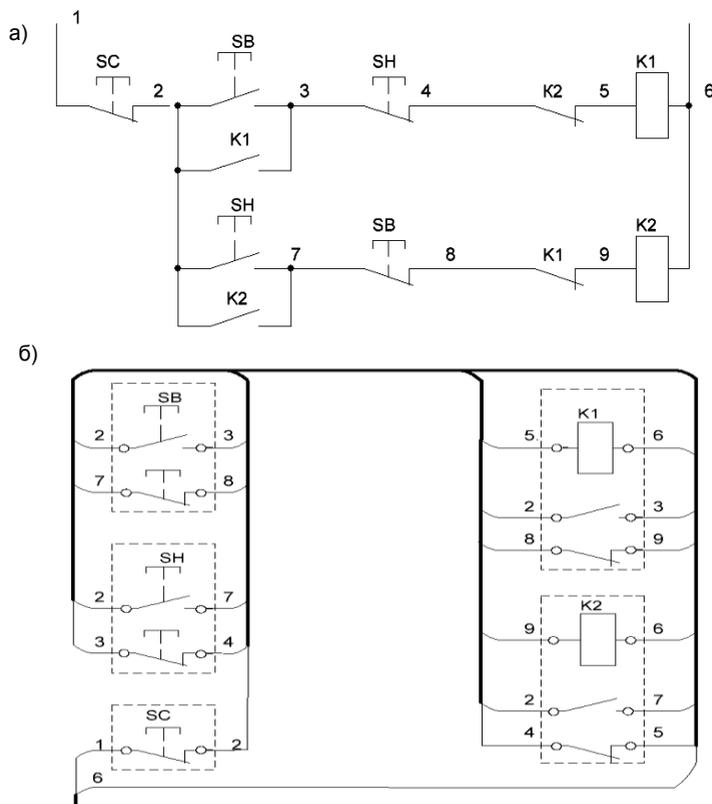


Рис. П15. Схема электрическая принципиальная (а) и схема соединений (б)

На схеме соединений изображают все устройства и элементы, входящие в состав изделия, их входные и выходные элементы (соединители, платы, зажимы ит. и) и соединения между ними с указанием маркировки этих соединений. Устройства изображают в виде прямоугольников или упрощенных внешних очертаний, элементы – в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД прямоугольников или упрощенных внешних очертаний. Внутри прямоугольников или упрощенных внешних очертаний, изображающих элементы, допускается помещать их условные графические обозначения, а для устройств – их структурные, функциональные или принципиальные схемы.

Входные и выходные элементы изображают условными графическими обозначениями. Расположение изображений входных и выходных элементов или выводов внутри условных графических обозначений устройств и элементов должно примерно соответствовать их действительному расположению в устройстве или элементе.

Допускается взамен условных графических обозначений входных и выходных элементов помещать таблицы с характеристиками цепей и адресами внешних подключений.

Расположение графических обозначений устройств и элементов на схеме должно примерно соответствовать их действительному размещению в изделии. Допускается на схеме не отражать расположение устройств и элементов в изделии, если схему выполняют на нескольких листах или размещение устройств и элементов на месте эксплуатации неизвестно.

Элементы, используемые в изделии частично, допускается изображать на схеме неполностью.

Около условных графических обозначений устройств и элементов указывают позиционные обозначения, присвоенные им на принципиальной схеме. Около или внутри графического обозначения устройства допускается указывать его наименование и тип или обозначение документа, на основании которого устройство применено. При отсутствии принципиальной схемы изделия позиционные обозначения устройствам, а также элементам, не вошедшим в принципиальные схемы составных частей изделия, присваивают по правилам в соответствии с ГОСТ.

На схеме следует указывать обозначения выводов (контактов) элементов (устройств), нанесенные на изделие или установленные в

документации изделия. Если в конструкции устройства или элемента и в его документации обозначения входных и выходных элементов не указаны, то допускается условно присваивать им обозначения на схеме, помещая соответствующее пояснение на поле схемы.

Устройства с одинаковыми внешними подключениями изображают на схеме с указанием подключений только для одного из них.

Если устройства имеют самостоятельные схемы подключения, то на схеме изделия допускается не показывать присоединение проводов и жил кабелей к входным и выходным элементам.

При изображении соединителей отдельные контакты допускается не изображать, а заменять их таблицами с указанием подключения контактов. Таблицы можно помещать около изображения соединителя, на поле схемы или на последующих листах схемы. В последнем случае им присваивают позиционные обозначения соответствующих соединителей. В таблице допускается указывать дополнительные сведения, например, данные провода.

Учебное издание

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум  
для студентов специальности  
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

В 3 частях

Часть 1

## СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Составитель  
МИХЕЕВ Николай Николаевич

Технический редактор О.В. Песенько

---

Подписано в печать 20.04.2012.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 200. Заказ 745.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.