

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

**Методические указания
для лабораторных занятий
для студентов инженерных специальностей**

В 2 частях

Часть 1

**Утверждено учебно-методической комиссией
инженерного факультета**

**Барановичи
РИО БарГУ
2008**

УДК 631.171:636(072)
ББК 31.261:31.264я73
Э45

Авторы - составители:

И. В. Дубень, О. В. Понталев

Рецензенты:

Ю. И. Шадиб, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой механизации и энергообеспечения
производства БарГУ;

Д. А. Ционенко, кандидат физико-математических наук,
заведующий кафедрой физико-математических дисциплин БарГУ

Электрические аппараты [Текст] : метод. указания для лаб. занятий для студентов инженер. специальностей : в 2 ч. / авт.-сост.: И. В. Дубень, О. В. Понталев. — Барановичи : РИО БарГУ, 2008. — Ч. 1. — 73[3] с. — экз.

В методических указаниях приведены правила техники безопасности при работе в лаборатории электрических машин и аппаратов, порядок подготовки к лабораторным занятиям и оформления отчетов, методика выполнения лабораторных работ и обработки опытных данных.

Издание предназначено для студентов инженерных специальностей дневной и заочной форм обучения, изучающих дисциплины «Электротехника, электрические машины и аппараты» и «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий».

УДК 631.171:636 (072)
ББК 31.261:31.264я73

© БарГУ, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие указания по выполнению лабораторных работ	4
Требования техники безопасности при выполнении лабораторных работ	5
Лабораторные работы	8
1. Исследование работы трехфазного силового понижающего трансформатора	8
2. Исследование генератора постоянного тока с параллельным возбуждением	16
3. Подготовка к пуску трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	30
4. Изучение аппаратов автоматического управления и защиты	44
5. Изучение аппаратов защиты электроустановок	57
Литература	73

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы, представленные в настоящих методических указаниях, выполняются на базе комплектных лабораторных стендов К4822-2, которыми оснащена лаборатория электротехники, электрических машин и аппаратов.

Подготовка к лабораторным работам:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. По лекциям и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной работе.

3. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе согласно методическим указаниям по соответствующей лабораторной работе.

Студенты, явившиеся на занятие неподготовленными, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Выполнение лабораторных работ:

1. На рабочем месте необходимо ознакомиться с приборами, аппаратами и прочим оборудованием, записать в отчет технические данные объектов и средств исследования. При этом нужно выяснить, какие зажимы приборов соответствуют тем или иным точкам электрической схемы и в какие положения нужно установить органы управления блока питания.

2. Сборку электрических цепей следует производить, пользуясь соответствующей электрической схемой и указаниями преподавателя.

3. При сборке цепей необходимо избегать излишнего пересечения соединительных проводов.

4. При сборке цепей постоянного тока следует соблюдать полярность включения приборов в соответствии с полярностью источника тока.

5. Во время выполнения работы нужно следить за показаниями приборов и не перегружать их.

6. По окончании выполнения лабораторной работы необходимо отключить лабораторный стенд, показать преподавателю полученные результаты и с его разрешения разобрать электрическую схему.

Уход из лаборатории до окончания занятий не разрешается. Время, отводимое студентам для выполнения лабораторной работы, равно двум академическим часам.

Отчеты по лабораторным работам оформляются согласно общепринятым на инженерном факультете нормам и правилам. Все вычисления следует производить в системе единиц СИ. Построение экспериментальных кривых выполняется в прямоугольной системе координат. Координатные оси должны иметь обозначения изображаемых величин, размерность и масштаб.

Отчет должен содержать:

- 1) наименование работы и ее номер, цель работы в краткой формулировке;
- 2) электрическую схему лабораторной установки (выполняется карандашом с соблюдением правил начертания и обозначения элементов согласно системе ЕСКД);
- 3) перечень используемой аппаратуры, ее технические данные, условные обозначения;
- 4) основные расчетные формулы с подробной расшифровкой условных обозначений и указанием единиц измерения;
- 5) результаты измерений и расчетов;
- 6) графические зависимости и векторные диаграммы (при необходимости);
- 7) анализ результатов работы и выводы.

Отчеты, выполненные с отступлениями от вышеперечисленных требований, к защите не допускаются.

Лабораторная работа считается защищенной, если студент показал знание цели, физической сущности исследуемых процессов, методики выполнения опытов, может объяснить и проанализировать полученные результаты и разъяснить основные выводы.

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К работе в учебной лаборатории электротехники, электрических машин и аппаратов допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности с обязательной росписью в журнале регистрации.

Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо:

- 1) изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе;
- 2) изучить методические указания по выполнению работы, правила работы с приборами и оборудованием, а также правила техники безопасности при работе в лаборатории;
- 3) ознакомиться с экспериментальной установкой, подготовить рабочее место, убрав все посторонние предметы;
- 4) убедиться, что переключатели напряжения на блоках питания находятся в нулевом положении, и все рукоятки регулирования выведены в крайнее левое положение.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать ряд требований.

1. Строго следовать правилам работы с используемыми приборами и оборудованием.

2. Не наклоняться низко над приборами и оборудованием, не передавать через них предметы и не опираться на них.

3. Быть внимательным, соблюдать порядок, не вмешиваться в работу других студентов и не отвлекать их от работы.

4. Не включать приборы и оборудование, работа которых не предусмотрена заданием.

5. Не оставлять без присмотра включенное оборудование.

6. На рабочем месте поддерживать чистоту и порядок, не загромождать рабочие места и проходы.

7. Перед сборкой электрических схем следует убедиться в исправности изоляции используемых соединительных проводов. Запрещается пользоваться проводами без концевичников.

8. Собирать электрические цепи разрешается только при выключенных лабораторных стендах.

11. После окончания сборки схемы необходимо тщательно проверить правильность соединений в соответствии со схемами, прилагаемыми к лабораторным работам.

12. Включать стенды под напряжение разрешается только после проверки электрических цепей руководителем и только в его присутствии.

13. Нельзя прикасаться к неизолированным проводам, соединительным клеммам и другим частям электрических цепей, которые находятся под напряжением.

14. Прежде чем производить какие-либо изменения в исследуемой цепи нужно отключить ее от источника электрической энергии и после присоединения получить разрешение руководителя на повторное включение.

15. Запрещается без надобности в течение долгого времени держать собранную цепь под напряжением во избежание перегрева источников питания и элементов цепи.

16. При отключении цепей переменного тока, содержащих индуктивности и емкости, следует сначала плавно снизить напряжение питания рукояткой лабораторного автотрансформатора, так как при резком отключении могут возникнуть значительные электродвижущие силы (ЭДС), опасные для человека и для изоляции обмоток.

17. Обнаружив любую неисправность в электротехническом устройстве, находящемся под напряжением, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения следует немедленно сообщить о случившемся преподавателю.

18. Перед разборкой цепи необходимо убедиться, что источник питания отключен. Запрещается выдергивать соединительные провода из зажимов.

19. После выполнения лабораторной работы нужно выключить напряжение питания стенда, разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

20. При эксплуатации стенда необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

В случае возникновения аварийной ситуации следует немедленно прекратить работу, отключить вышедшее из строя оборудование либо отключить напряжение в лаборатории общим выключателем и доложить о случившемся преподавателю.

В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь, освободив его от действия электротока, сообщить о случившемся преподавателю или в скорую помощь.

При возникновении пожара или возгорания следует немедленно сообщить о случившемся преподавателю или в городскую пожарную службу.

Помните! Несоблюдение правил техники безопасности может привести к поражению электрическим током или к выходу из строя дорогостоящего оборудования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА I

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО Понижающего Трансформатора

Цели работы:

1. Изучить назначение, паспортные данные, устройство, принцип действия и область применения трехфазного силового понижающего трансформатора.
2. Изучить основные схемы соединения первичных и вторичных обмоток трансформатора.
3. Экспериментально определить параметры трансформатора, а также величины, характеризующие его магнитную систему.
4. Построить векторные диаграммы напряжений и определить по ним группу соединений обмоток трансформатора.

1.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучите необходимые разделы в рекомендуемой литературе, а также теоретические сведения, приведенные в п. 1.4.
2. Запишите и поясните паспортные данные исследуемого трансформатора.
3. Вычертите принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 1.1).
4. Подготовьте таблицу 1.1 для записи результатов измерений и расчетов.

1.2 Объект и средства исследования

В составе лабораторной установки объектом исследования является трехфазный силовой понижающий трансформатор типа ТСЗИ-1,6УХЛ2, сухой, защищенный, с естественным воздушным охлаждением. Его номинальные параметры: мощность $S_{\text{НОМ}} = 1,6$ кВА, первичное напряжение $U_{1\text{НОМ}} = 380/220$ В, вторичное напряжение $U_{2\text{НОМ}} = 220/127$ В, частота тока $f_{\text{НОМ}} = 50 \dots 60$ Гц, КПД $\eta_{\text{НОМ}} = 94\%$, схемы соединения обмоток высокого напряжения (ВН) и низкого напряжения (НН) — Y/Δ, площадь сечения магнитопровода $s = 1,25 \cdot 10^{-3}$ м². Число витков добавочной обмотки $w_{\text{д}} = 100$.

Средствами исследования служат: вольтметр PV1 типа Э8025 или аналогичный с номиналом 250 В, вольтметр PV2 типа Э8025 или аналогичный с номиналом 150 В, вольтметр PV3 электромагнитной системы с номиналом 15 В, амперметры PA1, PA2 и PA3 типа Э8025 или аналогичные с номиналом

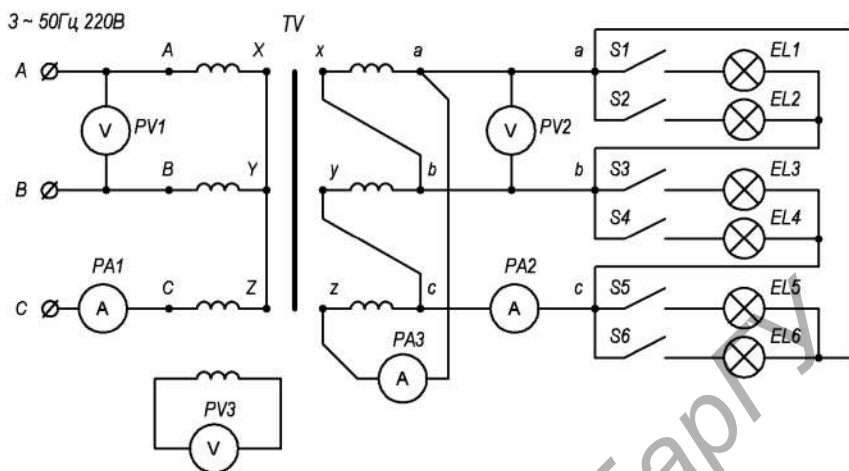


Рисунок 1.1 — Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

0,3 А. Для создания нагрузочного режима используются лампы накаливания EL1...EL6 мощностью 25...200 Вт на напряжение 210...235 В, подключаемые выключателями S1...S6.

1.3 Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь (см. рис. 1.1) с помощью соединительных проводов и подключите ее к клеммам А, В и С приборного штатива лабораторного стенда. После проверки преподавателем правильности сборки включите переключатель «3~220 В» на блоке питания лабораторного стенда и кнопкой «Пуск» подключите цепь к сети.

2. Измерьте характеристики холостого хода трансформатора (при отключенной нагрузке): линейное напряжение на первичных и вторичных обмотках с помощью вольтметров PV1 и PV2, напряжение на добавочной обмотке по вольтметру PV3, а также силу тока первичной обмотки по амперметру PA1.

Определите число витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток трансформатора, фазный коэффициент трансформации n_{ϕ} , магнитодвижущую силу (МДС) холостого хода первичной обмотки F_{10} , магнитный поток Φ и магнитную индукцию сердечника B_1 . Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу 1.1 (см. с. 10).

3. Выключателями S1...S6 подключите ко вторичной обмотке трансформатора нагрузочные лампы EL1...EL6 и измерьте линейный $I_{2л}$ и фазный $I_{2\phi}$ токи вторичной обмотки.

По результатам измерений определите действующие значения МДС первичной F_1 и вторичной F_2 обмоток трансформатора, передаваемую полную мощность S и коэффициент его загрузки β . Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу 1.1.

4. Постройте векторные диаграммы напряжений первичных и вторичных обмоток трансформатора на холостом ходу. Определите группу соединения обмоток трансформатора.

Т а б л и ц а 1.1 — Результаты испытания трансформатора

Величина	Расчетная формула	Значение
<i>Номинальный режим</i>		
Номинальная мощность, кВА	$S_{\text{НОМ}}$	
Номинальные напряжения, В	$U_{1\text{НОМ}}$ $U_{2\text{НОМ}}$	
Номинальные токи, А	$I_{\text{НН1}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НН1}}}$ $I_{\text{ЗН1}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{ЗН1}}}$	
<i>Режим холостого хода</i>		
Линейные напряжения, В	$U_{1\text{Л}}$ $U_{2\text{Л}}$	
Напряжение добавочной обмотки, В	$U_{\text{Д}}$	
Ток холостого хода, А	I_0	
Фазные напряжения, В	$U_{1\text{Ф}} = U_{1\text{Л}} / \sqrt{3}$ $U_{2\text{Ф}} = U_{2\text{Л}}$	
Число витков обмоток	$w_1 = w_{\text{Д}} U_{1\text{Ф}} / U_{\text{Д}}$ $w_2 = w_{\text{Д}} U_{2\text{Ф}} / U_{\text{Д}}$	
Фазный коэффициент трансформации	$n_{\text{Ф}} \approx U_{1\text{Ф}} / U_{2\text{Ф}}$	
Линейный коэффициент трансформации	$n_{\text{Л}} \approx U_{1\text{Л}} / U_{2\text{Л}}$	
МДС холостого хода, А	$F_{10} = w_1 I_0$	
Магнитный поток, Вб	$\Phi = U_{10} / (2\pi f w_1)$	
Магнитная индукция, Тл	$B = \Phi / (sc)$	
<i>Нагрузочный режим</i>		
Сила тока обмоток, А	I_1 I_2	
МДС обмоток, А	$F_1 = w_1 I_1$ $F_2 = w_2 I_2$	
Мощность, ВА	$S = \sqrt{3} U_{1\text{Л}} I_1$	
Коэффициент загрузки	$\beta = I_1 / I_{\text{Н}}$	

Примечание. $c = 0,85 \dots 0,95$ — коэффициент заполнения магнитопровода сталью; $s = 2,288 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ — площадь поперечного сечения сердечника магнитопровода.

1.4 Основные теоретические сведения

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного (синусоидального) тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения без изменения его частоты. По конструкции и сфере применения трансформаторы можно разделить на силовые, сварочные, измерительные и специальные.

Наибольшее распространение получили *силовые трехфазные трансформаторы* (рис. 1.2), предназначенные для повышения напряжения на электростанциях (до 110, 220, 500, 750, 1150 кВ и др.) и понижения напряжения на подстанциях предприятий и потребителя (до 35, 10, 6 кВ, 660, 380, 220 и 127 В). Каждая фаза трехфазного силового трансформатора имеет первичную обмотку (к ней энергия подводится от источника) и вторичную обмотку (с нее энергия поступает к приемнику).

Физические принципы работы трехфазного трансформатора описываются:

1) уравнениями электрического состояния первичной и вторичной цепи каждой фазы:

$$\begin{aligned} u_1 &= -e_1 + R_1 i_{10} + L_{\sigma 1} di_{10} / dt; \\ u_2 &= e_2 - R_2 i_2 - L_{\sigma 2} di_2 / dt; \end{aligned}$$

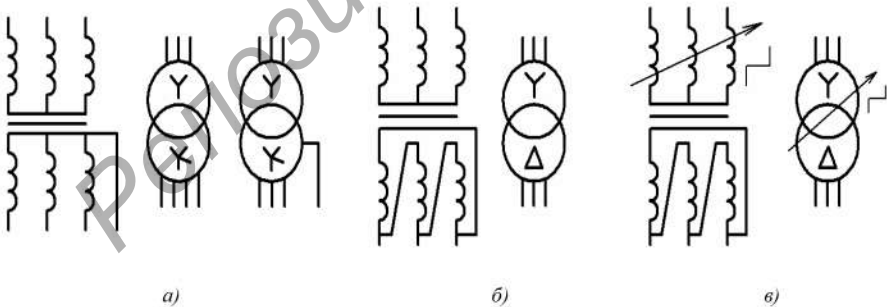


Рисунок 1.2 — Условные обозначения трехфазных трансформаторов со схемами соединения обмоток: Y/Y-0 (а); Y/Δ-11 (б); Y/Δ-11 (в) — со ступенчатым регулированием напряжения

2) уравнением магнитодвижущей силы фазы

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = i_{10} w_1,$$

где u_1 и u_2 — мгновенные значения напряжения на выводах первичной и вторичной обмоток, В;

e_1 и e_2 — мгновенные значения ЭДС первичной и вторичной обмоток, В;

R_1 и R_2 — активные сопротивления первичной и вторичной обмоток, Ом;

i_1 и i_2 — мгновенные значения тока первичной и вторичной обмоток, А;

i_{10} — мгновенное значение тока первичной обмотки на холостом ходу, А;

L_{P1} и L_{P2} — индуктивность, обусловленная магнитным потоком рассеяния соответственно первичной и вторичной обмотки, Гн.

Номинальные данные трехфазного трансформатора указываются в паспорте и на специальном щитке трансформатора:

$S_{НОМ}$ — полная мощность трансформатора в номинальном режиме, кВА;

$U_{1НОМ}$ и $U_{2НОМ}$ — номинальные напряжения первичных и вторичных обмоток, В;

Y/Y-0 или Y/Δ-11 — схема и группа соединений обмоток (приведены наиболее часто встречающиеся обозначения);

P_0 и $P_{К.НОМ}$ — потери в режимах холостого хода и короткого замыкания на три фазы, Вт;

$u_{К\%}$ — напряжение короткого замыкания в процентах от номинального напряжения;

$i_{10\%}$ — ток холостого хода в процентах от номинального тока первичной обмотки, А.

Паспортные характеристики позволяют рассчитывать параметры работы трансформатора в различных режимах.

Для первичных и вторичных обмоток трехфазного трансформатора линейные и фазные напряжения и токи связаны формулами:

1) при соединении обмоток трансформатора по схеме «звезда» (Y)

$$U_{Л} = \sqrt{3} U_{Ф};$$

$$I_{Ф} = I_{Л};$$

2) при соединении обмоток по схеме «треугольник» (Δ)

$$U_{Л} = U_{Ф};$$

$$I_{Л} = \sqrt{3} I_{Ф}.$$

Номинальная мощность трансформатора независимо от способа соединения обмоток (ВА) —

$$S_{НОМ} = \sqrt{3} U_{1НОМ} I_{1НОМ} \approx \sqrt{3} U_{2НОМ} I_{2НОМ}.$$

Число витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток можно приближенно вычислить, зная напряжение на выводах добавочной обмотки U_D и число ее витков w_D :

$$\begin{aligned}w_1 &= w_D U_{1\Phi} / U_D; \\w_2 &= w_D U_{2\Phi} / U_D.\end{aligned}$$

При холостом режиме работы трансформатора фазный коэффициент трансформации можно вычислить по приближенной формуле

$$n_{\Phi} = U_{1\Phi} / U_{2\Phi}.$$

Фазный коэффициент трансформации равен отношению витков первичной и вторичной обмоток:

$$n_{\Phi} = w_1 / w_2.$$

Магнитодвижущая сила первичной обмотки трансформатора на холостом ходу (А) равна

$$F_{10} = w_1 I_{10}.$$

Магнитодвижущая сила (МДС) первичной и вторичной обмоток фазы (А) определяется по формулам

$$\begin{aligned}F_1 &= w_1 I_1; \\F_2 &= w_2 I_2.\end{aligned}$$

Магнитный поток, проходящий по сердечнику, (Вб) равен отношению

$$\hat{O} = \frac{U_{10}}{2\pi f w_1},$$

где $f = 50$ Гц — частота тока в сети.

Магнитная индукция сердечника (Тл) определяется по формуле

$$B = \frac{\hat{O}}{s},$$

где s — площадь поперечного сечения сердечника, m^2 .

Коэффициент загрузки трансформатора определяется отношением

$$\beta = I_1 / I_{1НОМ} \approx I_2 / I_{2НОМ}.$$

При построении векторной диаграммы напряжений трансформатора (рис. 1.3, см. с. 14) сначала в выбранном масштабе M_U строится векторная диаграмма фазных ($\vec{U}_{AN}, \vec{U}_{BN}, \vec{U}_{CN}$) и линейных ($\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$) напряжений

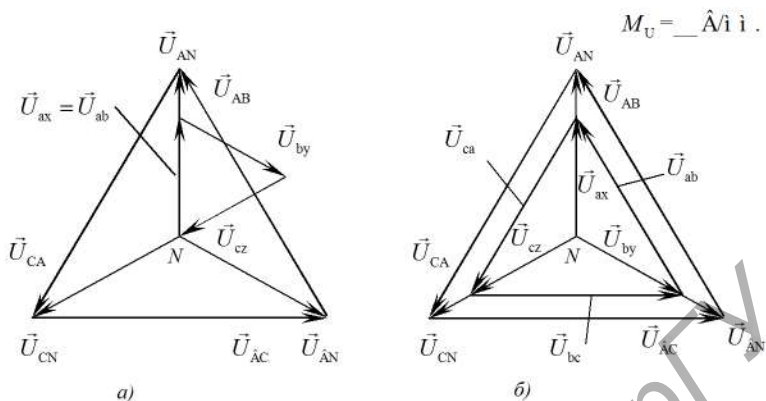


Рисунок 1.3 — Пример построения векторной диаграммы напряжений трехфазного понижающего трансформатора при схеме соединения обмоток «звезда — треугольник» (а) и «звезда — звезда» (б)

с учетом принятой схемы соединения обмоток (для схемы «звезда» без нейтрали и при симметричном режиме работы точку соединения выводов X , Y и Z обмоток можно считать нейтральной точкой N). При этом следует использовать следующие векторные уравнения:

$$\begin{cases} \vec{U}_{AB} = \vec{U}_{AN} - \vec{U}_{BN}; \\ \vec{U}_{BC} = \vec{U}_{BN} - \vec{U}_{CN}; \\ \vec{U}_{CA} = \vec{U}_{CN} - \vec{U}_{AN}. \end{cases}$$

Затем строится векторная диаграмма фазных ($\vec{U}_{ax}, \vec{U}_{by}, \vec{U}_{cz}$) и линейных ($\vec{U}_{ab}, \vec{U}_{bc}, \vec{U}_{ca}$) напряжений вторичных обмоток трансформатора с учетом того, что векторы одноименных фазных напряжений параллельны между собой.

Для определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора по векторной диаграмме следует вычислить угол в градусах между одноименными векторами линейных напряжений вторичной \vec{U}_{ab} и первичной \vec{U}_{AB} обмоток, отсчитываемый от вектора низшего напряжения \vec{U}_{ab} против направления хода часовой стрелки. Число, полученное в результате деления значения этого угла на 30° , является искомой группой соединения обмоток.

1.5 Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия трехфазного силового понижающего трансформатора.
2. Назовите основные паспортные величины трехфазного трансформатора.
3. Перечислите основные схемы соединения обмоток трансформатора.
4. Какие группы соединения обмоток трансформатора вам известны?
5. Назовите известные вам причины перегрева трансформатора, а также причины его ненормального гудения.
6. Изобразите векторную диаграмму вторичных напряжений трансформатора, если в одной из первичных обмоток произошел обрыв линейного провода.

Репозиторий БарГУ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цели работы:

1. Изучить конструкцию генератора постоянного тока с параллельным возбуждением и освоить приемы снятия его характеристик.
2. Снять, построить и проанализировать рабочие характеристики генератора постоянного тока с параллельным возбуждением.

2.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучите необходимые разделы в рекомендуемой литературе, а также теоретические сведения, приведенные в п. 2.4.
2. Вычертите схему лабораторной установки.
3. Запишите паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.
4. Подготовьте таблицы для записи результатов опытов.

2.2 Объект и средства исследования

На рабочем месте смонтирована лабораторная установка, объектом исследования в которой является машина постоянного тока типа МСП-025. Ее номинальные параметры в двигательном режиме: напряжение питания – 160 В, ток якоря — 2,3 А, частота вращения якоря — 1 700 об/мин, мощность — 250 Вт.

Для регулирования тока возбуждения используется реостат типа МП сопротивлением 100 Ом и номинальным током 2 А.

В генераторном режиме привод машины постоянного тока осуществляется от асинхронного двигателя типа 4А63В4У3 со следующими номинальными параметрами: мощность $P_{НОМ} = 0,37$ кВт, ток статора $I_{НОМ} = 1,2$ А, частота вращения ротора $n_{НОМ} = 1\,365$ об/мин, коэффициент мощности $\cos \varphi_{НОМ} = 0,69$, КПД $\eta_{НОМ} = 68\%$.

Для создания нагрузки на генератор используются лампы накаливания, собранные в три группы EL1...EL3, и однополюсные выключатели S1...S3 для их включения.

Средствами исследования служат: ваттметр типа Д367 с номинальным током 5 А и номинальным напряжением 127 В, амперметры РА1 и РА3 типа

Э8025 с номинальным током 1 А, амперметр РА2 типа Э8025 с номинальным током 2 А, амперметр РА4 типа Э365-1 с номинальным током 2 А, вольтметр типа Э8052 с номинальным напряжением 50 В, прибор измерительный типа ДТ-832 или аналогичный.

2.3 Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь в соответствии со схемой лабораторной установки (рис. 2.1).
2. Для проверки генератора на остаточный магнитный поток выключателями S1...S3 следует отключить нагрузку, обеспечив тем самым режим холостого хода генератора. Ползунок реостата R_p установить в положение, соответствующее его максимальному сопротивлению, либо отключить цепь возбуждения.
3. С разрешения преподавателя кнопкой SB1 «Пуск» подключите цепь к трехфазной сети 220/380 В и наблюдайте за показаниями вольтметра PV2.

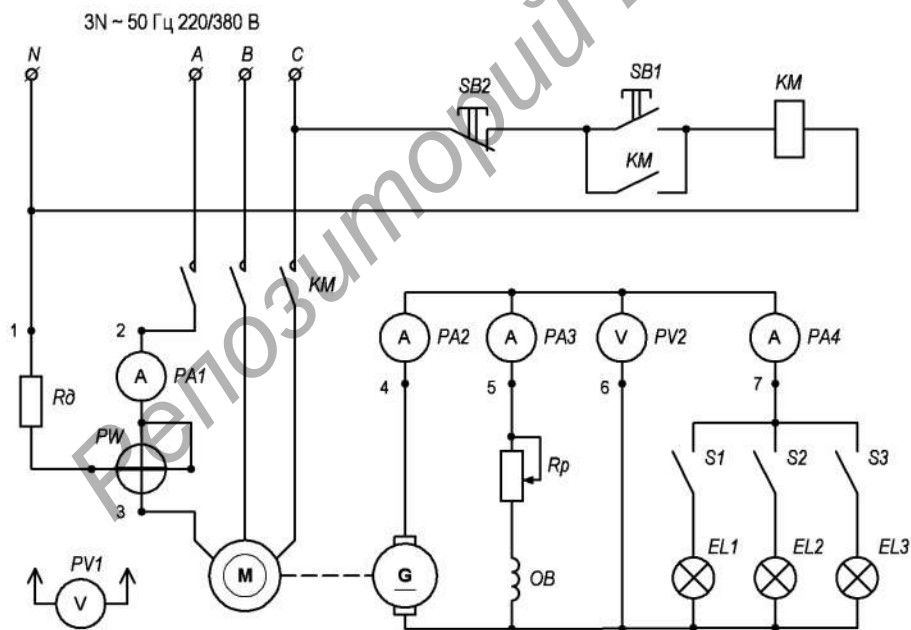


Рисунок 2.1 — Схема лабораторной установки для исследования работы генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Если вольтметр PV2 показывает небольшое напряжение (3...10 В), то остаточного магнитного поля полюсов достаточно для самовозбуждения генератора. Если вольтметр не показывает напряжение на выводах якоря генератора, следовательно, остаточный магнитный поток главных полюсов отсутствует и необходимо предпринять дополнительные меры для создания небольшого остаточного магнитного поля полюсов.

4. Для снятия характеристики холостого хода при токе нагрузки $I_H = 0$ (выключатели S1...S3 выключены) и частоте вращения якоря генератора $n = \text{const}$

Т а б л и ц а 2.1 — Результаты опыта холостого хода генератора

I_B, A	ЭДС генератора $E, \text{В}$	
	прямая ветвь	обратная ветвь
0		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		

следует плавно увеличивать ток возбуждения I_B ползунком реостата в пределах 0...0,8 А и записать показания приборов в 5—7 точках. Для снятия обратной ветви характеристики холостого хода необходимо плавно снижать ток возбуждения от 0,8 А до нуля с прежним шагом.

Результаты измерений запишите в таблицу 2.1. По результатам проведенного опыта постройте график $E = f(I_B)$ при $n = \text{const}$ и $i_H = 0$.

5. Снятие внешней характеристики генератора производится в четырех опытах при частоте вращения якоря $n = \text{const}$ и токе возбуждения $I_B = 0,5 \text{ А}$. Первый опыт проводится при $I_H = 0$ (выключатели S1...S3 в положении «Выкл.»). При каждом очередном опыте следует увеличивать нагрузку путем подключения ламп выключателями S1...S3. Результаты измерений запишите в таблицу 2.2.

6. Определите электрические параметры генератора в нагрузочном режиме. Активная мощность асинхронного электродвигателя (Вт)

$$P_1 = 3P_{\Phi},$$

где P_{Φ} — мощность фазы асинхронного электродвигателя, измеряемая ваттметром PW1.

Сопротивление ламповой нагрузки (Ом)

$$R_H = U_H / I_H.$$

Сопротивление цепи возбуждения (Ом)

$$R_B = U_H / I_B.$$

Т а б л и ц а 2.2. — Результаты испытания генератора под нагрузкой

Величины	Условные обозначения, единица измерения	Номер опыта			
		1	2	3	4
<i>Результаты измерений</i>					
Сила тока обмотки возбуждения	I_B, A				
Напряжение сети	U, B				
Сила тока электродвигателя	I_1, A				
Активная мощность электродвигателя	$P_1, Bт$				
Сила тока якоря	I_A, A				
Напряжение на выводах генератора	U_H, B				
Сила тока нагрузки	I_H, A				
Частота вращения якоря	$n, об/мин$				
<i>Результаты расчетов</i>					
Сопротивление нагрузки	$R_H, Ом$				
Сопротивление цепи возбуждения	$R_B, Ом$				
Сопротивление якоря	$R_A, Ом$				
Электромагнитная мощность генератора	$P_{ЭМ}, Bт$				
Мощность нагрузки	$P_H, Bт$				
Мощность потерь в цепи якоря	$\Delta P_A, Bт$				
Мощность потерь в цепи возбуждения	$\Delta P_B, Bт$				
КПД генератора	$\eta_Г, \%$				
КПД установки	$\eta, \%$				

Примечание. Электродвижущая сила генератора определяется по характеристике холостого хода $E = f(I_B)$ путем осреднения значений для прямой и обратной ветвей при заданном токе возбуждения I_B .

Сопротивление якоря (Ом)

$$R_A = (E - U_H) / I_A,$$

где E — значение ЭДС, соответствующее принятому току возбуждения I_B (определяется по характеристике холостого хода).

Электромагнитная мощность генератора (Вт)

$$P_{ЭМ} = E I_A.$$

Мощность ламповой нагрузки (Вт)

$$P_H = I_H U_H.$$

Мощность потерь в цепи якоря и цепи возбуждения (Вт)

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{я}} &= R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2; \\ \Delta P_{\text{в}} &= R_{\text{в}} I_{\text{в}}^2.\end{aligned}$$

КПД генератора (%)

$$\eta_{\text{А}} = \frac{P_{\text{I}}}{P_{\text{I}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{А}}} \cdot 100\%.$$

КПД установки (%)

$$\eta = (P_{\text{H}} / P_{\text{I}}) 100\%.$$

По результатам измерений и расчетов постройте внешнюю характеристику генератора $U = f(I_{\text{H}})$ при $I_{\text{в}} = \text{const}$.

7. Получите регулировочную характеристику генератора $I_{\text{в}} = f(I_{\text{H}})$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$. Для этого проведите четыре опыта, увеличивая ток нагрузки I_{H} от нуля до максимального значения выключателями S1...S3 и поддерживая при этом напряжение на выводах генератора постоянным $U = 24...36$ В (по указанию преподавателя) путем изменения тока возбуждения $I_{\text{в}}$ реостатом R_p. Результаты измерений запишите в таблицу 2.3.

Построить график зависимости $I_{\text{в}} = f(I_{\text{H}})$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$.

8. Для одного из опытов (см. таблица 2.2, по указанию преподавателя) составьте схему замещения цепи генератора и нагрузки.

2.4 Основные теоретические сведения

Генераторы являются источниками тока, в которых механическая энергия преобразуется в электрическую. Генераторы постоянного тока находят применение в тех отраслях промышленности, где по условиям производства необходим или является предпочтительным постоянный ток (металлургические и электролизные предприятия, транспорт и др.). В качестве первичного двигателя могут быть использованы электродвигатель, двигатель внутреннего сгорания и т. д.

Т а б л и ц а 2.3 — Регулировочная характеристика генератора

Величина	Условные обозначения, единица измерения	Номер опыта			
		1	2	3	4
Напряжение генератора	U , В				
Сила тока возбуждения	$I_{\text{в}}$, А				
Сила тока нагрузки	I_{H} , А				
Частота вращения якоря	n , об/мин				

По конструктивному исполнению машина постоянного тока (рис. 2.2) подобна обращенной синхронной машине, у которой обмотка якоря расположена на роторе, а обмотка возбуждения — на статоре. Основное отличие заключается в том, что машина постоянного тока имеет на якоре коллектор, а на статоре — помимо главных полюсов с обмоткой возбуждения — добавочные полюсы, которые служат для уменьшения искрения под щетками.

Статор состоит из корпуса (станины) и главных полюсов. Станина является частью магнитопровода, так как через нее замыкается магнитный поток машины. Станину изготовляют из стали, обладающей достаточной механической прочностью и большой магнитной проницаемостью.

На статоре расположены главные и добавочные полюсы с катушками обмотки возбуждения. Полюсы выполняют из стальных штампованных листов и крепят болтами к стальному корпусу.

Главные полюсы предназначены для создания в машине магнитного поля возбуждения. Главный полюс состоит из сердечника и полюсной катушки. Со стороны, обращенной к якору, сердечник полюса имеет полюсный наконечник, который обеспечивает необходимое распределение магнитной индукции в зазоре машины. Сердечники главных полюсов делают шихтованными

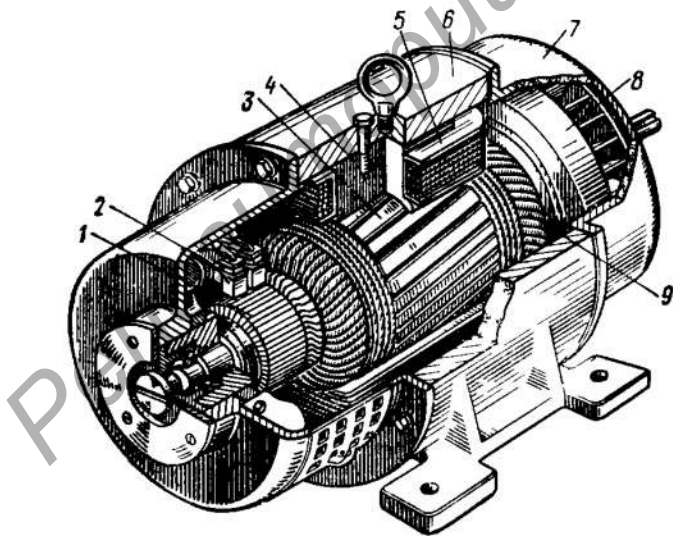


Рисунок 2.2 — Устройство машины постоянного тока:

- 1 — коллектор; 2 — щетки; 3 — сердечник якоря; 4 — главный полюс; 5 — катушки обмотки возбуждения; 6 — корпус (станина); 7 — подшипниковый щит; 8 — вентилятор; 9 — обмотка якоря

из тонколистовой электротехнической стали. Штампованные пластины главных полюсов специально не изолируют, так как тонкая пленка окисла на их поверхности достаточна для значительного ослабления вихревых токов, наведенных в полюсных наконечниках пульсациями магнитного потока.

Катушки главных и добавочных полюсов изготавливают из изолированного медного провода. В машинах небольшой мощности полюсные катушки делают бескаркасными — намоткой медного обмоточного провода непосредственно на сердечник полюса через изоляционную прокладку. В машинах мощностью 1 кВт и более полюсную катушку делают каркасной: обмоточный провод наматывают на пластмассовый каркас, который затем надевают на сердечник полюса.

Якорь машины постоянного тока состоит из вала, сердечника с обмоткой и коллектора. Сердечник якоря имеет шихтованную конструкцию и набирается из штампованных пластин тонколистовой электротехнической стали, покрытых изоляционным лаком. Такая конструкция сердечника якоря позволяет значительно ослабить в нем вихревые токи, возникающие из-за перемагничивания. На поверхности сердечника якоря имеются продольные пазы, в которые укладывают обмотку якоря.

Обмотку якоря изготавливают из провода круглого или прямоугольного сечения. Ее выполняют двухслойной, в каждом пазу укладывают две стороны различных якорных катушек — одну поверх другой. Каждая якорная катушка включает в себя несколько секций (одновитковых или многовитковых), концы которых припаивают к соответствующим коллекторным пластинам.

Коллектор выполняют в виде цилиндра, собранного из клинообразных пластин твердотянутой меди. Между пластинами располагают изоляционные прокладки из миканита. Чтобы прокладки при износе пластин коллектора не выступали и не вызывали вибрации щеток, их фрезеруют на 0,8...1,5 мм глубже поверхности коллектора. К верхней часть коллекторных пластин припаивают проводники обмотки якоря. Поверхность собранного коллектора обрабатывают на токарном станке и тщательно шлифуют.

Электрический контакт с коллектором осуществляется посредством прямоугольных графитных или металлографитных щеток, расположенных в щеткодержателях. При вращении якоря щетки сохраняют неизменное положение по отношению к полюсам машины. Щетка снабжается гибким тросиком для включения ее в электрическую цепь машины.

Щеткодержатель состоит из обоймы, в которую помещают щетку, и откидного курка, прижимающего щетку к коллектору. Одно из основных условий бесперебойной работы машины — плотный и надежный контакт между щеткой и коллектором. Давление на щетку должно быть отрегулировано, так как чрезмерный нажим может вызвать преждевременный износ щетки и перегрев коллектора, а недостаточный нажим — искрение на коллекторе.

На переднем подшипниковом щите имеется смотровое окно (люк) с крышкой, через которое можно осмотреть коллектор и щетки, не разбирая машины. Концы обмоток выведены на зажимы коробки выводов. Вентилятор обеспечи-

вает подачу внутрь машины воздуха, который омывает нагретые части (коллектор, обмотки и сердечники) и выбрасывается с противоположной стороны через решетку.

Согласно ГОСТ 183-74 для машин постоянного тока принято следующее обозначение выводов обмоток: обмотки якоря — Я1–Я2, независимой обмотки возбуждения — Н1–Н2, параллельной обмотки возбуждения — Ш1–Ш2, последовательной обмотки возбуждения — С1–С2, обмотки дополнительных полюсов — Д1–Д2, компенсационной обмотки — К1–К2. Цифра «1» обозначает начало, а цифра «2» — конец обмотки.

В зависимости от способа возбуждения генераторы постоянного тока подразделяются на генераторы с независимым возбуждением и с самовозбуждением (рис. 2.3).

У генераторов с самовозбуждением обмотка возбуждения получает питание от собственного якоря. В зависимости от способа ее включения такие генераторы бывают с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

Основные соотношения, характеризующие работу машины в качестве генератора, можно представить в виде приведенных ниже уравнений, которые справедливы для всех генераторов независимо от способа их возбуждения.

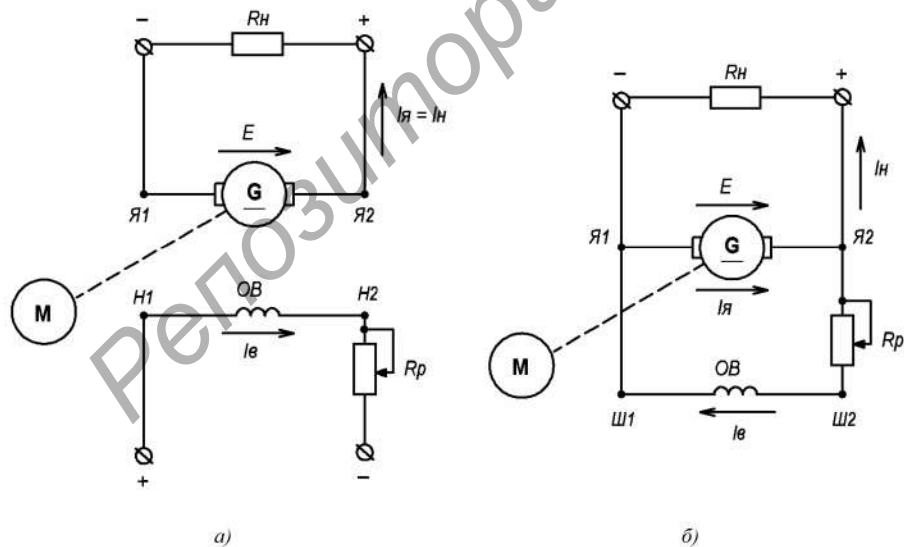


Рисунок 2.3 — Электрическая схема генераторов постоянного тока с независимым (а) и параллельным (б) возбуждением

Электродвижущая сила генератора в установившемся режиме определяется по формуле

$$E = C_E n \Phi,$$

где C_E — конструктивный коэффициент ЭДС,
 n — частота вращения якоря (об/мин);
 Φ — магнитный поток обмотки возбуждения:

$$\Phi = I_B w_B,$$

где w_B — число витков обмотки возбуждения.

Конструктивный коэффициент ЭДС равен

$$C_E = \frac{pN}{60a};$$

где p — число полюсов;
 N — число проводников в обмотке якоря;
 $2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря;

Напряжение на выводах генератора всегда будет меньше наводимой в обмотке якоря ЭДС E на величину падения напряжения ΔU :

$$U = E - \Delta U = E - I_A (R'_A + R_D + R_K) - \Delta U_{щ},$$

где I_A — ток якоря, А;
 R'_A, R_D и R_K — соответственно сопротивление якорной, добавочной и компенсационной обмоток, Ом;
 $\Delta U_{щ}$ — падение напряжения на щетках якоря, В.
В зависимости от конкретной схемы генератора часть сопротивлений (R_D или R_K) может отсутствовать, и можно считать

$$U = E - I_A R_A,$$

где R_A — сопротивление цепи якоря, равное сумме сопротивлений включенных обмоток и щеточных контактов.

Ток якоря генератора I_A обусловлен ЭДС E и всегда имеет с ней одинаковое направление:

$$I_A = (E - U) / R_A.$$

Величина $P_{ЭМ} = E I_A$ называется электромагнитной мощностью и представляет собой полную электрическую мощность, которая получается в результате преобразования механической мощности. Часть

этой мощности расходуется в цепи якоря на электрические потери в обмотках

$$P_{ЭЯ} = I_{Я}^2 R_{Я}.$$

В генераторах параллельного и смешанного возбуждения часть мощности затрачивается в обмотке возбуждения

$$P_{В} = I_{В}^2 (R_{Ш} + R_{Р}),$$

где $R_{Р}$ и $R_{Ш}$ — сопротивление регулировочного реостата и обмотки возбуждения (шунтовой обмотки), Ом.

Остальная часть мощности, равная произведению $U I_{Н}$, передается на нагрузку $R_{Н}$.

От двигателя, приводящего во вращение якорь генератора, подводится механическая мощность P_1 . Большая ее часть преобразуется в электрическую $P_{ЭМ}$, а другая ее часть расходуется в генераторе на покрытие механических потерь $P_{Мех}$ (трение в подшипниках, вентиляцию), магнитных потерь в якорь $P_{М}$ и добавочных потерь $P_{Д}$:

$$P_1 = P_{ЭМ} + P_{Мех} + P_{М} + P_{Д}.$$

Разделив правую и левую части последнего уравнения на угловую скорость якоря ω , получим уравнение момента:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega} + \frac{P_{ГД} + P_{М} + P_{Д}}{\omega} = M_{ЭМ} + M_0.$$

Электромагнитный момент $M_{ЭМ}$ в генераторе направлен против вращения якоря. Его значение:

$$M_{ЭМ} = C_M I_{Я} \Phi,$$

где C_M — конструктивный коэффициент момента:

$$C_M = \frac{pN}{2\pi a}.$$

При увеличении тока $I_{Я}$ возрастают электромагнитный момент, момент сопротивления на валу и мощность, потребляемая от первичного двигателя.

Самовозбуждение генератора параллельного возбуждения происходит при соблюдении следующих условий:

1) наличия остаточного магнитного потока полюсов не менее 1...5% от номинального;

2) правильного подключения концов обмотки возбуждения или правильного направления вращения;

3) скорость вращения якоря при заданном сопротивлении обмотки возбуждения R_B выше определенной критической величины.

Остаточный магнитный поток практически всегда имеется в уже работавшей машине. Вновь изготовленную машину или машину, которая по каким-либо причинам размагнитилась, необходимо намагнитить, пропуская через обмотку возбуждения ток от постороннего источника.

Процесс самовозбуждения протекает следующим образом. Небольшая ЭДС, индуцируемая в якоре остаточным магнитным потоком, вызывает в обмотке возбуждения малый ток I_B . Этот ток вызывает увеличение потока полюсов, а следовательно увеличение ЭДС, которая, в свою очередь, обуславливает дальнейшее увеличение тока возбуждения I_B , и т. д. Такой лавинообразный процесс самовозбуждения продолжается до тех пор, пока напряжение генератора не достигнет установившегося значения.

Если подключение концов обмотки возбуждения или направление вращения неправильны, то возникает ток возбуждения I_B обратного направления, вызывающий ослабление остаточного потока и уменьшение ЭДС, вследствие чего самовозбуждение невозможно. В этом случае необходимо переключить концы обмотки возбуждения или изменить направление вращения.

Характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Для генераторов постоянного тока основными являются характеристики холостого хода, нагрузочная, внешняя и регулировочная. Указанные характеристики определяются при постоянной номинальной частоте вращения якоря $n = n_{\text{НОМ}} = \text{const}$.

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость ЭДС E на выводах генератора от тока возбуждения I_B при разомкнутой цепи нагрузки ($R_H = \infty$) и постоянной частоте вращения якоря $n = \text{const}$.

Характеристика холостого хода необходима для построения других характеристик машины и позволяет судить о степени насыщения магнитной цепи машины.

Так как значения тока I_B невелики, то можно считать $U \approx E$, и характер кривой характеристики холостого хода у генератора с параллельным возбуждением будет таким же, как и у генератора с независимым возбуждением. Характеристику холостого хода получают путем увеличения тока I_B от нуля до максимально возможного значения (прямая ветвь) и последующего снижения тока (обратная ветвь) с помощью регулировочного реостата R_p в цепи возбуждения. Несовпадение кривых прямой и обратной ветвей объясняется наличием гистерезиса в стали, из которой выполнена магнитная система машины. За расчетную принимается средняя кривая (штриховая линия на рисунке 2.4), для практических целей часто ограничиваются снятием только обратной ветви.

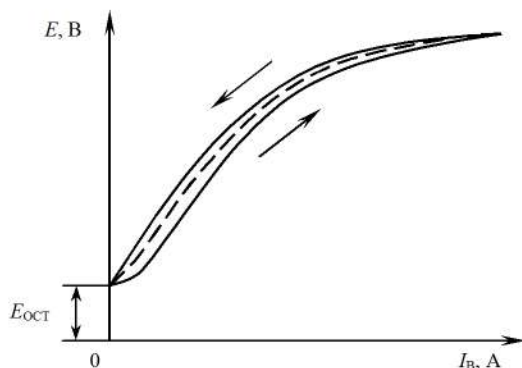


Рисунок 2.4 — Характеристика холостого хода генератора постоянного тока параллельного возбуждения

В начальной части характеристики холостого хода ЭДС изменяется пропорционально току возбуждения, а затем ее рост замедляется, что объясняется насыщением стальных участков магнитной цепи. При $I_B = 0$ в обмотке якоря наводится ЭДС остаточной намагниченности $E_{ост}$ (1...3% от номинальной ЭДС), которая создается остаточным магнитным полем статора (полюсов и корпуса).

Нагрузочная характеристика генератора параллельного возбуждения позволяет количественно определить размагничивающее действие реакции якоря и исследовать зависимость ее от насыщения машины и тока якоря. Эта характеристика представляет собой зависимость $U = f(I_B)$ при условии $I_A = \text{const}$ и $n = \text{const}$. Ток возбуждения I_B изменяют в сторону уменьшения, начиная от максимального его значения.

Внешняя характеристика генератора $U = f(I_H)$ снимается при $R_p = \text{const}$ и $n = \text{const}$, т. е. при естественных условиях работы без регулирования тока в цепи возбуждения. С помощью регулировочного реостата R_p устанавливают такое значение тока возбуждения I_B , чтобы при номинальном токе нагрузки $I_H = I_{ном}$ напряжение на выводах машины было номинальным $U_{ном}$ (рис. 2.5, см. с. 28).

Номинальное изменение напряжения генераторов параллельного возбуждения составляет 15...20%. Характерной особенностью внешней характеристики является то, что при некотором максимальном значении тока $I_{кр}$ она делает петлю и приходит в точку I_K (ток короткого замыкания). Такой характер характеристики объясняется тем, что генератор сам себя размагничивает из-за уменьшения тока возбуждения I_B . При коротком замыкании машина практически размагничивается, установившийся ток короткого замыкания I_K определяется только значением ЭДС остаточной намагниченности. Ток I_K в большинстве случаев невелик и не превышает номинального значения.

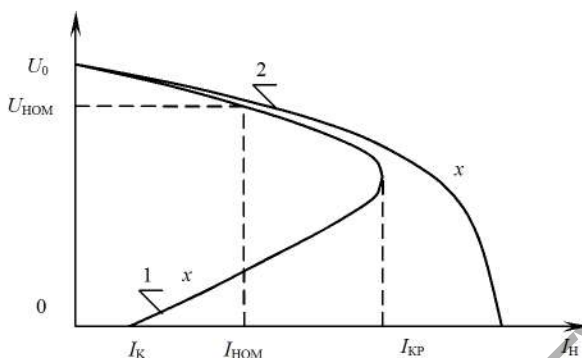


Рисунок 2.5 — Внешняя характеристика генераторов постоянного тока с параллельным (1) и независимым (2) возбуждением

В случае внезапного короткого замыкания ток в якоре может увеличиться до значений в 5...15 раз больше номинального, что вызовет сильное искрение щеток, а в некоторых случаях и появление кругового огня. Поэтому генераторы с параллельным, также как и с независимым возбуждением, должны быть снабжены предохранителями или быстродействующими выключателями, отключающими короткозамкнутую цепь еще до того, как ток якоря достигнет больших значений.

Согласно внешним характеристикам генератора при изменении нагрузки I_H напряжение U на выводах генератора не остается постоянным. Для того чтобы сохранить напряжение U неизменным, необходимо регулировать ток возбуждения I_B . Закон регулирования тока возбуждения для сохранения неизменным напряжения при изменении нагрузки дает **регулирующая характеристика**, представляющая собой зависимость $I_B = f(I)$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$ (рис. 2.6).

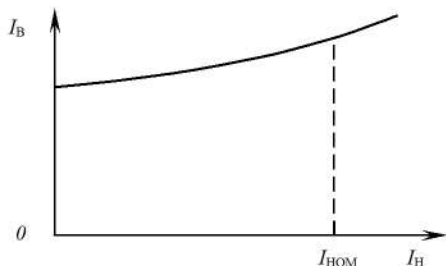


Рисунок 2.6 — Регулирующая характеристика генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Снимать регулировочную характеристику начинают с холостого хода (ток нагрузки $I_H = 0$). При постепенном увеличении тока нагрузки до номинального ток возбуждения I_B необходимо несколько увеличивать, чтобы скомпенсировать уменьшение напряжения из-за падения напряжения и размагничивающего действия реакции якоря.

2.5 Контрольные вопросы

1. Объясните физический смысл характеристики холостого хода генератора.
2. Объясните физический смысл внешней характеристики генератора.
3. Объясните физический смысл регулировочной характеристики генератора.
4. Назовите способы регулирования ЭДС генератора.
5. Поясните принцип самовозбуждения генератора.
6. Укажите причины снижения напряжения на выводах генератора при увеличении нагрузки.
7. Как определить, какие выводы принадлежат якорю, а какие обмотке возбуждения?
8. Почему на практике не применяются генераторы с последовательным возбуждением?
9. Поясните причины искрения щеток генератора постоянного тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ПОДГОТОВКА К ПУСКУ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цели работы:

1. Изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Экспериментально определить начала и концы обмоток статора электродвигателя.
3. Выбрать схему включения электродвигателя и выполнить подключение его к сети на холостом ходу.

3.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучите необходимые разделы в рекомендуемой литературе, а также теоретические сведения, приведенные в п. 3.4.
2. Вычертите электрические схемы, используемые в лабораторной работе.
3. Запишите паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.
4. Подготовьте таблицу для записи результатов опытов.

3.2 Объект и средства исследования

Объектом изучения и исследования является трехфазный асинхронный электродвигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором типа АИР90L4У3 с номинальными параметрами: мощность $P_{\text{H}} = 2,2$ кВт, соединение фаз — Δ/Y ; напряжение $U_{\text{НОМ}} = 220/380$ В; ток $I_{\text{НОМ}} = 8,6/5,0$ А; коэффициент полезного действия $\eta_{\text{НОМ}} = 81\%$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,83$; частота вращения $n_{\text{НОМ}} = 1400$ об/мин; режим работы — S1; класс изоляции — F; степень защиты — IP54.

Средствами исследования служат: прибор измерительный электронный типа ДТ 832; мегомметр ЭС-0202/2Г или аналогичный; лампа накаливания мощностью 25 Вт и напряжением 245...255 В; вольтметр типа Э8025 электромагнитной системы или аналогичный с пределом измерения 250 В.

3.3 Порядок выполнения работы

1. Выполните проверку отсутствия обрыва фазных обмоток и определите их выводы при помощи контрольной электрической лампы, вольтметра или мегомметра. Определенные выводы фаз обозначьте этикетками.

2. Выполните проверку отсутствия замыкания фазных обмоток на корпус при помощи контрольной электрической лампы, вольтметра или мегомметра.

Внимание! При использовании контрольной лампы или вольтметра к корпусу двигателя присоединяется нейтраль, а не фазный провод.

3. Результаты измерения сопротивления изоляции между обмотками и корпусом, а также между обмотками, запишите в таблицу 3.1.

4. Определите действительные начала и концы фазных обмоток методами подбора, трансформации, милливольтметра или трех вольтметров (по указанию преподавателя) и обозначьте их на бирках.

5. Выберите схему подключения электродвигателя к сети («звезда» либо «треугольник») и с разрешения преподавателя включите его в работу на холостом ходу.

Т а б л и ц а 3.1 — Сопротивление изоляции электродвигателя

Величина	Значение
Сопротивление изоляции между обмотками:	
1—2	
2—3	
3—1	
Сопротивление изоляции между обмотками и корпусом:	
1	
2	
3	

3.4 Основные теоретические сведения

А синхронный двигатель (рис. 3.1, см. с. 32) состоит из двух основных частей, разделенных воздушным зазором: неподвижного статора и вращающегося ротора. Каждая из этих частей имеет сердечник и обмотку. При этом обмотка статора включается в сеть и является первичной, а обмотка ротора — вторичной.

Статор состоит из корпуса 11, установленного на лампах 12 и сердечника 10 с трехфазной обмоткой. Корпус двигателя отливают из алюминиевого сплава или чугуна либо делают сварным. В корпусе расположен сердечник статора 10, имеющий шихтованную конструкцию (отштампованные листы из электро-технической стали толщиной около 0,5 мм покрыты слоем изоляционного лака). Сердечник статора собран в пакет и скреплен специальными скобами или продольными сварными швами по наружной поверхности пакета. Такая конструкция сердечника способствует значительному уменьшению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых расположены пазовые части обмотки статора. Лобовые части находятся за пределами сердечника по его торцовым сторонам.

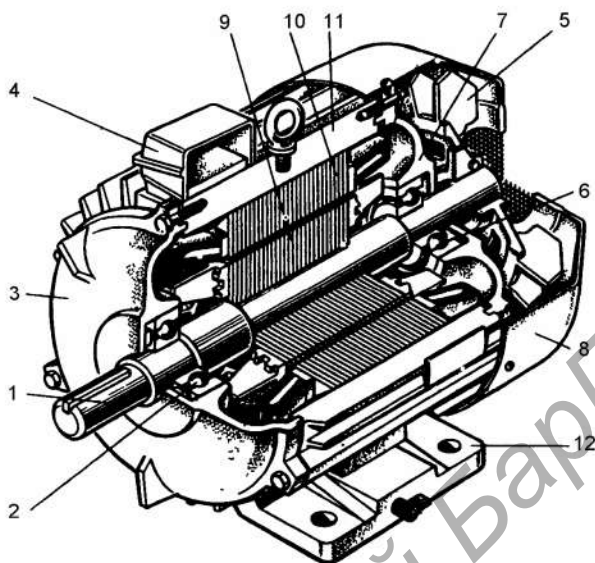


Рисунок 3.1 — Устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

В расточке статора расположена вращающаяся часть двигателя — *ротор*, состоящий из вала 1 и сердечника 9 с короткозамкнутой обмоткой. Такая обмотка, называемая «беличье колесо», представляет собой ряд металлических (алюминиевых или медных) стержней, расположенных в пазах сердечника ротора, замкнутых с двух сторон замыкающими кольцами. Сердечник ротора также имеет шихтованную конструкцию, но листы ротора не покрыты изоляционным лаком, а имеют на своей поверхности тонкую пленку окислов. Это является достаточной изоляцией, ограничивающей вихревые токи, так как значения их невелики из-за малой частоты переметания сердечника ротора. Например, при частоте сети 50 Гц и номинальном скольжении 6% частота переметания сердечника ротора составляет 3 Гц.

Короткозамкнутая обмотка ротора в большинстве двигателей выполняется заливкой собранного сердечника ротора алюминиевым сплавом. При этом одновременно со стержнями обмотки отливаются замыкающие их коротко кольца с вентиляционными лопатками. Вал ротора вращается в подшипниках качения 2 и 6, закрепленных в подшипниковых щитах 3 и 7.

Рассматриваемый двигатель имеет закрытое обдуваемое исполнение, охлаждение осуществляется методом обдува наружной поверхности корпуса. Поток воздуха создается центробежным вентилятором 5, прикрытым кожухом 8. Сна-

ружи корпус имеет ряд продольных ребер, предназначенных для увеличения поверхности охлаждения.

Двигатели мощностью 15 кВт и более могут быть защищенного исполнения с внутренней самовентиляцией. В подшипниковых щитах этих двигателей имеются отверстия (жалюзи), через которые с помощью вентилятора через внутреннюю полость двигателя прогоняется воздух, который «омывает» нагретые части (обмотки и сердечники ротора и статора). При внутренней самовентиляции охлаждение двигателя более эффективно, чем при наружном обдуве.

При питании обмотки статора трехфазным током в магнитопроводе создается вращающееся магнитное поле. На замкнутые накоротко проводники ротора действуют электромагнитные силы. Суммарное усилие, приложенное ко всем проводникам ротора, образует электромагнитный момент, увлекающий ротор вслед за вращающимся полем. Если этот момент достаточно велик, то ротор приходит во вращение. Такой режим работы асинхронной машины называется *двигательным*.

Если ротор асинхронной машины разогнать с помощью внешнего момента до частоты вращения большей, чем частота вращения магнитного поля, то изменится направление ЭДС в проводниках ротора и направление активной составляющей тока ротора и машина перейдет в генераторный режим. При этом изменит свое направление и электромагнитный момент, который станет тормозящим.

Характерной особенностью асинхронной машины является наличие скольжения — неравенства частоты вращения ротора n_2 и частоты вращения магнитного поля статора n_1 :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%.$$

Концы обмоток фаз выводят на зажимы выводной коробки 4 (см. рис. 3.1). В некоторых двигателях небольшой мощности в коробке выводов имеется лишь три зажима. Такой двигатель может быть включен в сеть только на одно напряжение, соединение обмотки статора звездой или треугольником выполнено внутри двигателя.

Монтаж двигателя в месте его установки осуществляется посредством лап или фланца. Для предохранения персонала от возможного поражения электрическим током двигателя снабжаются болтами заземления (не менее двух).

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым и фазным роторами начиная с 1950 года разрабатывались и выпускались в нашей стране в виде единых серий: А и АО (1949—1951); А2 и АО2 мощностью 0,6...100 кВт (1958—1960); А и АК (1952—1956); А2 и АК2 (1964—1965); А3 и АО3; 4А, АИ и АИР (до настоящего времени).

В Республике Беларусь основным производителем асинхронных электродвигателей является Могилевский завод «Электродвигатель», номенклатура продукции которого включает следующие серии:

АИР — базовая серия, одно- и многоскоростные двигатели;

АИС — в соответствии с нормами CENELEC, стандартами DIN 42673 и DIN 42677 по присоединительным и установочным размерам;

АИРС — с повышенным скольжением;

АИР...Е — со встроенным электромагнитным тормозом;

4ВР и 4ВС — взрывозащищенные;

АВ2К и АИРВ112 — встраиваемые для привода компрессоров;

АИР...Ж — для привода центробежных моноблочных насосов;

АИРУ71А6 — для привода центробежных вентиляторов;

АИРЕ и АИР3Е — однофазные.

В России в последние годы освоен выпуск новых серий асинхронных двигателей серий RA (0,37...100 кВт), 5А(Н) (0,37...400 кВт) и 6А, разработка которых базировалась на рекомендациях Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Примеры маркировки асинхронных двигателей:

АИР132S6 — асинхронный двигатель Интерэлектро (Международная организация стран СЭВ); Р — вариант увязки мощностей и установочных размеров; 132 — высота оси вращения, мм; S — малая длина корпуса по установочным размерам; 6 — число полюсов (1 000 об/мин);

АИР100L8/4/2 — асинхронный Интерэлектро; 100 — высота оси вращения, мм; L — большая длина корпуса по установочным размерам; 8/4/2 — число полюсов (750/1 500/3 000 об/мин);

4А200L4У3, 4АН200L4У3 — асинхронный двигатель 4-й серии; закрытый обдуваемый, Н — защищенного исполнения; 200 — высота оси вращения; L — большая длина корпуса по установочным размерам; 4-й — число полюсов (1 500 об/мин); У — для районов с умеренным климатом; 3 — категория размещения;

АО2-81-2У3 — асинхронный обдуваемый; 2 — серия; 8 — габарит; 1 — первой длины; 2 — двухполюсный (3 000 об/мин); У — климатическое исполнение; 3 — категория размещения;

Обычно асинхронные двигатели предназначены для включения в трехфазную сеть на два разных напряжения, отличающихся в $\sqrt{3}$ раз (табл. 3.2). Чаще всего двигатели рассчитаны на напряжение 220/380 В. Если линейное напряжение сети составляет 220 В, то фазные обмотки электродвигателя следует соединить по схеме «треугольник», если линейное напряжение сети 380 В, то по схеме «звезда». В обоих случаях напряжение на обмотке каждой фазы составит 220 В.

Климатическое исполнение и категория размещения обозначаются последними символами в маркировке типа двигателя (например, У3, Т2 и др.).

Т а б л и ц а 3.2 — Схема соединения обмоток трехфазных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей

Номинальное напряжение двигателя U_n , В	Линейное напряжение сети U_l , В			
	127	220	380	660
127/220	Δ	Y	—	—
220/380	—	Δ	Y	—
380	—	—	Δ	—
380/660	—	—	Δ	Y

Электродвигатели выпускаются для следующих климатических зон: У или УХЛ — с умеренно холодным климатом, ХЛ — с холодным климатом; Т — с тропическим климатом, ТВ — с влажным тропическим климатом; ТС — с сухим тропическим климатом; О — для всех макроклиматических районов на суше; М — для морского климата; В — для всех макроклиматических районов на море и на суше.

Категория размещения электродвигателя определяет условия его эксплуатации: 1 — на открытом воздухе; 2 — под навесом (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков) и в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличается от колебаний на открытом воздухе; 3 — в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий; 4 — в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых производственных помещениях); 5 — в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых помещениях).

Помимо основных номинальных параметров, на заводском щитке электродвигателя (рис. 3.2, см. с. 36) приводятся номинальный режим работы, класс изоляции (табл. 3.3, см. с. 36) и степень защиты.

Номинальные режимы работы электродвигателей могут быть следующими: S1 — продолжительный; S2 — кратковременный режим работы (продолжительность работы 10, 30, 60 или 90 мин, после чего необходима продолжительная остановка для охлаждения); S3 — повторно-кратковременный (продолжительность включения ПВ 15, 25, 40 или 60% с длительностью рабочего цикла до 10 мин); S4 — повторно-кратковременный с частыми пусками.

Степень защиты обозначают символом IP (International Protection) и двумя цифрами, определяющими защищенность электродвигателя согласно СТ СЭВ 247-76:

1) в зависимости от защищенности обслуживаемого оборудования от соприкосновения с его токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри обмотки, а также попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел (первая цифра в обозначении — от 0 до 6: чем больше цифра, тем выше защищенность);

2) в зависимости от защищенности от вредного влияния, вызванного проникновением брызг воды внутрь оболочки (вторая цифра в обозначении — от 0 до 8: чем больше цифра, тем выше защищенность).

Двигатель асинхронный						
тип	AIP90L4Y3		№	9221415		
3Ф ~	50 Hz	Δ/λ	220/380 V	8,6/5,0 A		
2,2 kW	1400 об/мин	КПД 81 %		cos φ 0,83		
режим	S1	класс изол.	F	ГОСТ 183-74 IP 54		

Рисунок 3.2 — Заводской щиток асинхронного электродвигателя серии АИР с техническим паспортом

Т а б л и ц а 3.3 — Класс изоляции электродвигателей

Класс изоляции	E	B	F	H
Предельно допустимая температура нагрева обмоток, °C	120	130	155	190

Степени защиты электродвигателя выбираются исходя из условия окружающей среды, в которой он будет работать, например:

IP23 — оболочка защищает от попадания внутрь твердых тел с диаметром более 12,5 мм или от случайного прикосновения к токоведущим (или движущимся) частям пальцев или предметов длиной не более 80 мм; вода в виде брызг (под углом не более 60° к вертикали) не оказывает вредного влияния; вводное устройство степени защиты IP54 и IP44;

IP44 — оболочка защищает от попадания внутрь твердых тел размером более 1 мм и от прикосновения токоведущих (движущихся) частей с твердыми телами размером более 1 мм; вода в виде брызг в любом направлении не оказывает вредного влияния; вводное устройство степени защиты IP54;

IP54 — полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями; пыль, попадая внутрь машины, не оказывает вредного влияния, вода в виде брызг в любом направлении не может повлиять на ее работу; вводное устройство степени защиты IP54.

Подготовка трехфазного асинхронного двигателя к пуску выполняется в следующей последовательности:

- 1) изучаются паспортные данные двигателя, указанные на нем;
- 2) определяется сопротивление межвитковой изоляции, а также изоляции между витками и корпусом двигателя;
- 3) определяются выводы фазных обмоток статора, а также их условные начала и концы;
- 4) выбирается схема соединения обмоток двигателя («звезда» или «треугольник») в зависимости от номинального напряжения двигателя и напряжения сети;
- 5) электродвигатель подключается к сети на холостом ходу.

Проверка отсутствия обрыва фазных обмоток и определение их выводов производится при помощи контрольной электрической лампы, вольтметра или мегомметра. Для этого собирается последовательная цепь (рис. 3.3). При отсутствии обрыва в цепи обмотки загорается лампа, вольтметр показывает некоторую величину, а мегомметр — сопротивление, близкое к нулю. Если это не происходит, значит в цепи имеется обрыв либо задействованы выводы разных обмоток.

Фазы должны быть пронумерованы, на концах каждой из них должны быть закреплены бирки (этикетки) с обозначениями фаз (табл. 3.4).

Проверка отсутствия замыкания фазных обмоток на корпус (рис. 3.4, см. с. 38) выполняется аналогично определению отсутствия их обрыва: лампа, вольтметр или мегомметр включаются последовательно с корпусом и обмоткой, при этом

Т а б л и ц а 3.4 — Обозначения выводов обмоток электрических машин переменного тока (согласно ГОСТ 26772-85)

Схема соединения обмоток	Число выводов обмоток	Наименование фазы (вывода)	Обозначение выводов	
			начало	конец
Открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	U1 V1 W1	U2 V2 W2
Звезда	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Точка звезды		U V W N
Треугольник	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод		U V K

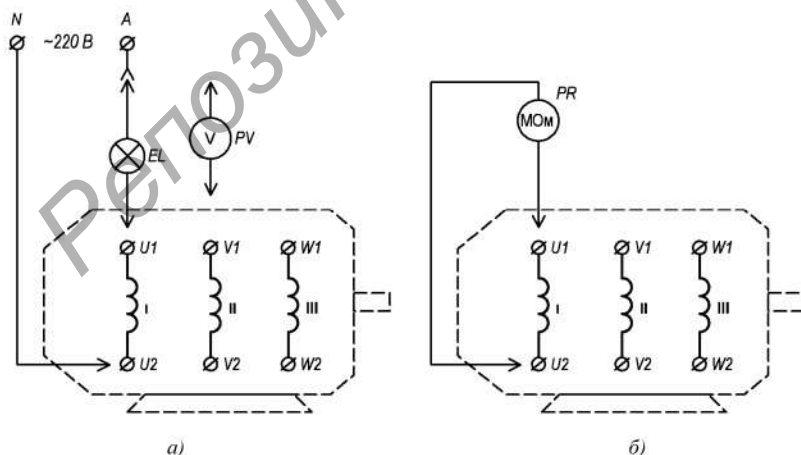


Рисунок 3.3 — Определение отсутствия обрывов и принадлежности выводов обмоток фазам статора с помощью: контрольной лампы или вольтметра (а); мегомметра (б)

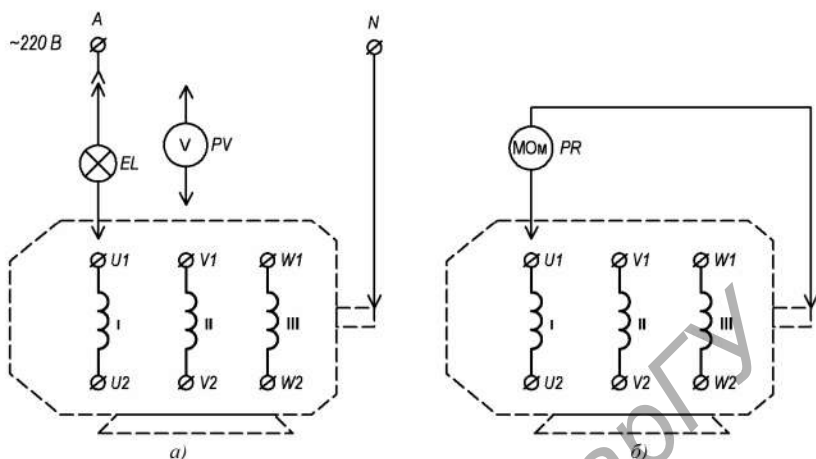


Рисунок 3.4 — Определение отсутствия замыкания фазных обмоток на корпус с помощью контрольной лампы или вольтметра (а); с помощью мегомметра при одновременном измерении сопротивления изоляции (б)

фазный провод присоединяется к обмотке, а нейтраль — к корпусу двигателя. При отсутствии замыкания лампа не горит, вольтметр показывает нулевое значение, а мегомметр показывает некоторую величину сопротивления изоляции.

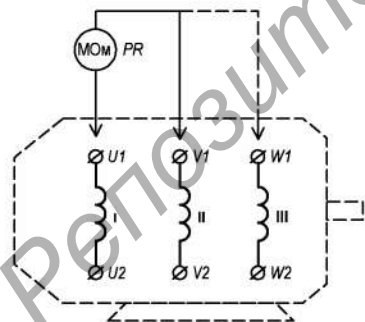


Рисунок 3.5 — Измерение сопротивления изоляции между обмотками с помощью мегомметра

Измерение сопротивления изоляции между обмотками и корпусом (см. рис. 3.4, б), а также между обмотками (рис. 3.5) выполняется с помощью мегомметра. Нормальная изоляция должна иметь сопротивление не менее 1 000 Ом на 1 В рабочего напряжения. В процессе эксплуатации электродвигателя сопротивление следует измерять при рабочей температуре двигателя, так как при холодном состоянии сопротивление изоляции может быть выше.

Если сопротивление обмотки больше нуля, но меньше нормы (0,5 МОм для двигателей напряжением до 500 В), значит изоляция электродвигателя отсырела, его необходимо просушить и после сушки повторить проверку.

Сушка изоляции обмоток электродвигателя проводится в том случае, если сопротивление изоляции статорных обмоток менее 1000 Ом на 1 В рабочего

напряжения. Сушка выполняется способами внешнего нагрева, тока в обмотках или способом потерь.

Внешний нагрев применяют в том случае, если машина сильно остыла. Для этого изоляцию обмоток обдувают горячим воздухом, используют калориферы, лампы накаливания, лампы инфракрасного излучения с зеркальными отражателями или нагревательные сопротивления. Температуру воздуха поддерживают в пределах 100...110°C, мощность нагревательного устройства (в кВт) должна быть численно равна объему камеры (в м³).

Для сушки обмоток способом тока в обмотках можно использовать переменный ток пониженного напряжения (в 3...5 раз меньше номинального) или замыканием одной из обмоток накоротко с подачей к двум другим фазам, соединенным последовательно, пониженного напряжения от сварочного трансформатора. Ток в обмотках статора не должен превышать номинального тока для данного двигателя.

Для сушки изоляции обмоток статора электродвигателя любой мощности можно использовать потери мощности на вихревые токи в стали сердечника. Эти токи образуются в результате создания переменного магнитного поля с помощью специальной обмотки, разделяемой по количеству витков на две половины и наматываемой снаружи по торцам статора. Общее число витков обмотки выбирают в пределах от 6 до 28, намагничивающий ток поддерживают в интервале 60...200 А, при этом напряжение на один виток обмотки должно составлять 3...4,5 В. Источником энергии служат сварочные трансформаторы. В начале сушки следует ускорить повышение температуры, а затем снизить ее до такого уровня, который необходим для покрытия потерь тепла в стали сердечника. Для этого обычно снижают подводимое напряжение или увеличивают число витков намагничивающей обмотки.

Определение начал и концов фазных обмоток

Определение начал и концов фазных обмоток производится методами подбора, трансформации, милливольтметра или трех вольтметров. Концы и начала обмоток статора необходимо знать для того, чтобы при подключении электродвигателя к сети учесть ориентацию витков в каждой обмотке. Название конец и начало в каждой обмотке условное, обозначение всех трех начал и трех концов можно поменять местами.

По методу пробного включения (подбора) определение условных начал и концов обмоток выполняется следующим образом. Концы обмоток U₂, V₂ и W₂ (или три вывода обмоток, принятые произвольно за концы) соединяют вместе, а начала U₁, V₁ и W₁ (или три условных начала) присоединяют к сети (рис. 3.6, а, см. с. 80), затем включают двигатель и наблюдают за его работой. Если двигатель работает без рывков и не гудит, то подбор начал и концов осуществлен правильно. В противном случае меняют местами выводы первой обмотки. Если после этого электродвигатель не стал работать нормально, то выводы первой обмотки возвращают в исходное положение, а затем меняют местами выводы второй обмотки и т. д.

По методу трансформации (рис. 3.6, б, см. с. 40) две любые обмотки соединяют последовательно и подключают кратковременно в сеть переменного однофазного

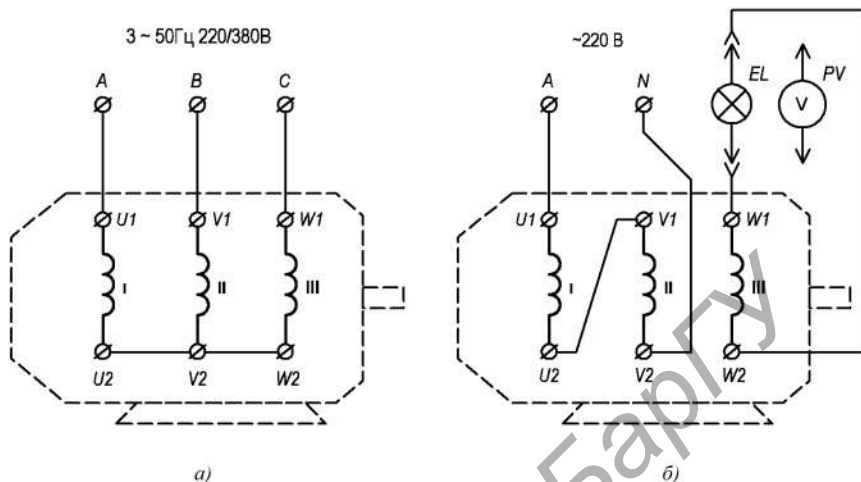


Рисунок 3.6 — Определение «начал» и «концов» обмоток статора методом пробного включения (а) и методом трансформации (б)

тока напряжением 127...220 В. К третьей свободной обмотке подключают вольтметр или электрическую лампу накаливания небольшой мощности (25...40 Вт).

Сущность метода состоит в следующем. При согласованном соединении двух обмоток (например, при соединении конца одной обмотки с началом другой) и пропускании через них переменного тока образуется результирующий переменный магнитный поток, который пересекает витки третьей обмотки и индуцирует на концах ее некоторую ЭДС, фиксируемую по показанию вольтметра или по накалу лампочки. В случае несогласованного соединения (конец одной обмотки соединен с концом другой либо начало одной — с началом другой) магнитные потоки, создаваемые обмотками, противодействуют друг другу. При этом индуцируемая в третьей обмотке ЭДС незначительна, и стрелка подключенного вольтметра не отклоняется (нить лампы не накаляется).

После определения наличия или отсутствия в третьей обмотке ЭДС помечают бирками выходы первой и второй обмоток: U1, V1 — начала и U2, V2 — концы. Для маркировки третьей обмотки ее соединяют последовательно с первой и второй обмоткой, выходы которых уже известны, и повторяют опыт. Чтобы избежать перегрева обмоток, допускается только кратковременное подключение к сети.

По методу милливольтметра к одной обмотке любой из фаз, начало и конец которой условно считаются известными, подключают источник постоянного тока через рубильник и реостат, который служит для уменьшения тока в цепи (рис. 3.7, а). В качестве источника тока желательно иметь аккумулятор с напряжением до 5 В. В момент включения или выключения рубильника в обмотках двух других фаз будет индуцироваться электродвижущая сила, причем ее направление определяется полярностью концов обмотки фазы, к которой подключен аккумулятор. Если к условному началу обмотки подсоединен «плюс» батареи, а к ее концу — минус, то при включении рубильника на остальных фазных обмотках будет «минус» на началах и «плюс» на концах. Это подтверждается направлением отклонения стрелки милливольтметра, подсоединяемого поочередно к их выводам. При выключении рубильника направление отклонения стрелки милливольтметра обратно полярности, указанной выше.

По методу трех вольтметров все три обмотки соединяют последовательно и включают в сеть (рис. 3.7, б). При согласном включении обмоток (конец каждой обмотки соединен с началом следующей) все вольтметры покажут одинаковое напряжение. Если же одна из обмоток «обернута», то присоединенный к ней вольтметр покажет большее напряжение по сравнению с двумя другими. Начало и конец этой обмотки нужно поменять местами, затем проверку повторить. Чтобы избежать повреждения изоляции, опыт необходимо проводить быстро, используя напряжение 220 В (фаза и нейтраль сети).

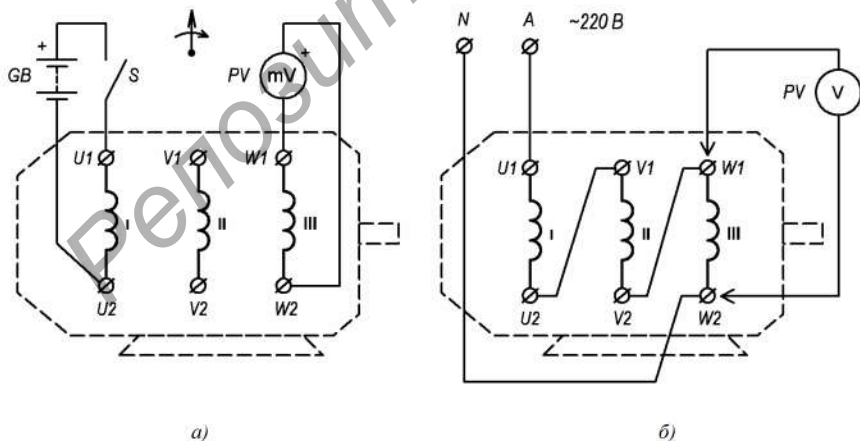


Рисунок 3.7 — Определение начал и концов фаз обмоток статора методом милливольтметра (а) и методом трех вольтметров (б)

Выбор схемы подключения электродвигателя («звезда» либо «треугольник») при пуске его в работу производится в зависимости от линейного напряжения сети и его соответствия номинальному напряжению, указанному на паспортном щитке электродвигателя (рис. 3.8).

На клеммной колодке выводы обмоток размещают таким образом, чтобы удобно было подключать двигатель к сети как «звездой», так и «треугольником». Переключение с одной схемы на другую осуществляется путем установки перемычек в требуемое положение.

3.5 Контрольные вопросы

1. Объясните устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

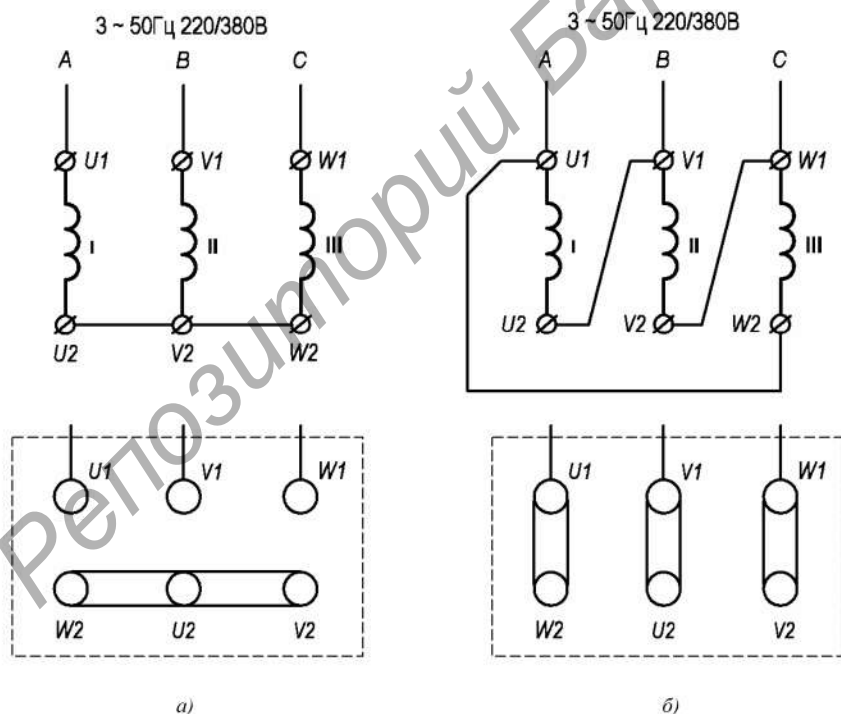


Рисунок 3.8 — Схемы соединения обмоток статора и расположение перемычек на клеммной колодке «звезда» (а), «треугольник» (б)

2. Объясните принцип действия асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

3. Что такое скольжение и какие значения оно принимает у асинхронного двигателя общего назначения?

4. С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают шесть выводов обмотки статора?

5. Как определить начала и концы обмоток статора?

6. Объясните, как соединить обмотки статора по схемам «звезда» и «треугольник». В каких случаях применяются эти способы соединения обмоток?

7. Что такое реверс и как его осуществить в трехфазном асинхронном двигателе?

Репозиторий БарГУ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Цели работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и правила выбора магнитных пускателей и тепловых реле.
2. Собрать и испытать простейшие схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем.

4.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучите необходимые разделы в рекомендуемой литературе, а также теоретические сведения, приведенные в п. 4.4.
2. Вычертите схему лабораторной установки.
3. Запишите паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.

4.2 Объект и средства исследования

Объектом исследования является установка, состоящая из асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, двух магнитных пускателей, теплового реле, двух- и трехкнопочной станций управления.

Основные номинальные технические данные электродвигателя: тип — АИР80А6У3; мощность $P_{\text{НОМ}} = 0,75$ кВт; соединение фаз — Δ/Y ; напряжение — 220/380 В; ток — 3,9/2,3 А; коэффициент полезного действия $\eta_{\text{НОМ}} = 70\%$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,72$; частота вращения $n_{\text{НОМ}} = 920$ об/мин; режим работы — S1, класс изоляции — В.

Основные технические данные аппаратов управления: магнитный пускатель КМ типа ПМЕ-211 на напряжение 220 В с тепловым реле ТРН-25; магнитный пускатель ПАЕ-312 на напряжение 380 В с тепловым реле ТРН-40; кнопочная станция КМЗ-2 (кнопки управления SB1, SB2), номинальное напряжение — 380 В, номинальный ток контактов — 2,5 А; кнопочная станция реверсивная КМЗ-3В (кнопки управления SB1, SB2, SB3), номинальное напряжение — 220 В, номинальный ток контактов — 4 А.

4.3 Рабочее задание и методические указания по его выполнению

1. Произведите расчет необходимых параметров и выберите магнитный пускатель и тепловое реле для трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (по указанию преподавателя).

2. Соберите электрическую цепь нереверсивной схемы управления трехфазным короткозамкнутым асинхронным электродвигателем с нулевой блокировкой (рис. 4.1). С разрешения преподавателя подключите ее к сети и опробуйте в работе при холостом ходе электродвигателя.

3. Изучите устройство реверсивной схемы управления трехфазным короткозамкнутым асинхронным электродвигателем с электрической и механической блокировками одновременного включения контакторов, назначение ее элементов и правила подключения (рис. 4.2, см. с. 46).

4. Соберите электрическую цепь реверсивной схемы управления трехфазным электродвигателем. С разрешения преподавателя подключите ее к сети и опробуйте в работе при холостом ходе электродвигателя.

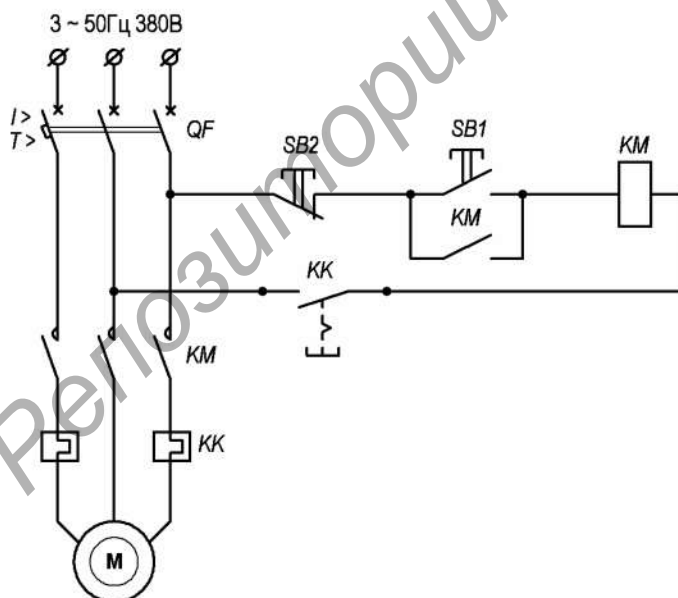


Рисунок 4.1 — Электрическая схема нереверсивного управления трехфазным асинхронным электродвигателем с нулевой блокировкой

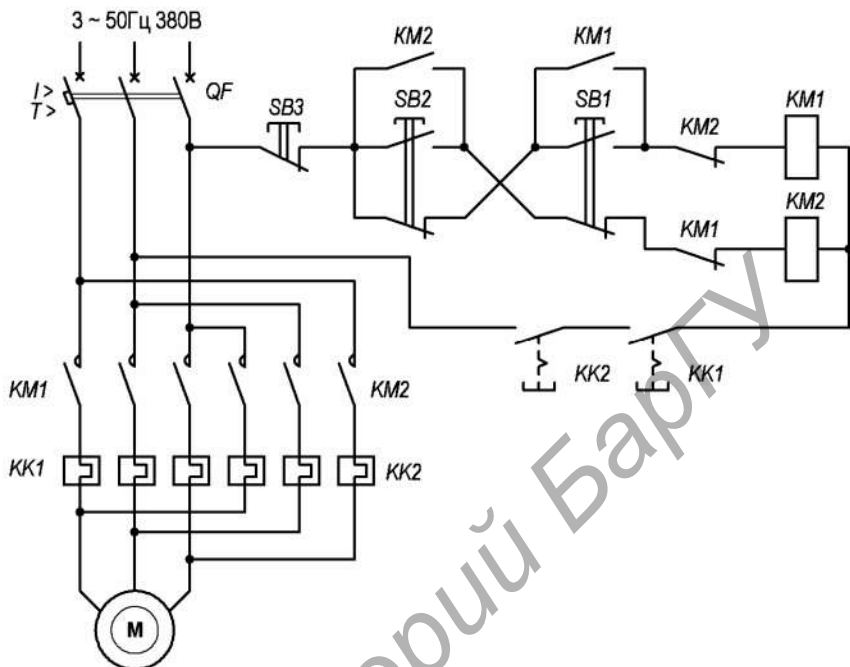


Рисунок 4.2 — Электрическая схема реверсивного управления трехфазным асинхронным электродвигателем с электрической блокировкой

4.2 Основные теоретические сведения

Магнитные пускатели

Магнитные пускатели предназначены для автоматического и полуавтоматического дистанционного управления трехфазными электродвигателями и другими электроустановками мощностью до 100 кВт при напряжении питания до 660 В и частоте включения 600...1 200 раз в час. Они выполняют следующие функции:

- 1) коммутационные переключения (включение, отключение, реверсирование, торможение, переключение схемы соединения фаз);
- 2) защиту от небольших, но длительных перегрузок (при наличии теплового реле);
- 3) защиту от снижения или исчезновения напряжения (минимальная защита);
- 4) защиту от самозапуска при кратковременном снятии напряжения (нулевая блокировка).

В то же время магнитные пускатели не защищают электроустановку от токов короткого замыкания.

Магнитные пускатели различаются по назначению, величине или габариту (передаваемой мощности), способу управления электродвигателем (реверсивные и нереверсивные), по роду защиты от окружающей среды (открытые, защищенные, пылеводонепроницаемые), наличию теплового реле, числу и роду блок-контактов, номинальному напряжению втягивающей катушки.

Основным элементом магнитного пускателя является силовой трехполюсный контактор с прямоходовой или откидной электромагнитной системой (рис. 4.3), которая состоит из катушки 6, сердечника 7 и якоря 8. В Ш-образной магнитной системе (см. рис. 4.3, а) втягивающая катушка 6 размещается на среднем керне сердечника 7. При П-образной форме сердечника (см. рис. 4.3, б) электромагнит выполняется в виде двух последовательно соединенных катушек. Якорь шарнирно соединен с изоляционной траверсой 5, на которой закреплены подвижные мостики главных контактов 4. Шток якоря опирается на пружины 2, служащие для смягчения ударов при замыкании магнитной системы.

Магнитная система пускателей переменного тока собрана из отдельных листов электротехнической стали. Так как катушка пускателя питается переменным током, в магнитопроводе возникает пульсирующий магнитный поток. Для устранения вибрации, износа якоря и подгорания главных контактов торцев

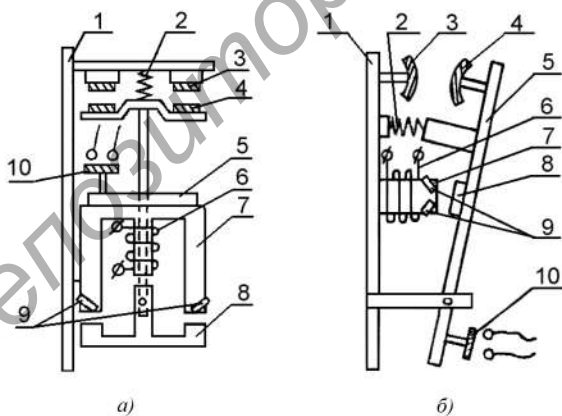


Рисунок 4.3 — Устройство магнитных пускателей с прямоходовой Ш-образной (а) и поворотнорычажной П-образной (б) магнитными схемами:

- 1 — основание; 2 — пружина; 3 — неподвижный контакт;
- 4 — подвижный контакт; 5 — траверса; 6 — катушка;
- 7 — сердечник; 8 — якорь; 9 — короткозамкнутый виток;
- 10 — мостик блок-контактов

сердечника в области прилегания к нему якоря разрывают и часть его охватывают демпферным короткозамкнутым витком из меди или латуни. В короткозамкнутом витке переменный магнитный поток индуцирует ЭДС, и протекающий по нему ток создает свой магнитный поток, сдвинутый по фазе по отношению к основному. Таким образом, в воздушном зазоре возникают два магнитных потока, сдвинутых по фазе. Их сумма в любой момент не равна нулю, следовательно, сила притяжения электромагнита не уменьшается до нуля, что устраняет вибрацию магнитной системы.

Ток катушки электромагнита переменного тока зависит главным образом от величины ее индуктивного сопротивления. В отключенном состоянии электромагнита воздушный зазор между якорем и сердечником велик, поэтому индуктивное сопротивление катушки мало. При включении в сеть по катушке протекает большой пусковой ток, в 10...20 раз превышающий значение рабочего тока при малом воздушном зазоре, вследствие чего при частых включениях катушка может перегреваться. Это обстоятельство ограничивает допустимую частоту включения электромагнитов переменного тока.

Контакты магнитных пускателей подразделяются на главные (силовые) и блок-контакты (вспомогательные). Главные контакты предназначены для замыкания и размыкания силовых цепей, по которым протекают токи нагрузки электродвигателей и других потребителей, и оснащаются дугогасящим устройством. Контакты без дугогасящих устройств применяются в основном для шунтирования пусковых и других сопротивлений (без разрыва электрической цепи под нагрузкой). Блок-контакты бывают замыкающие и размыкающие, они предназначены для коммутирования цепей управления и сигнализации и поэтому рассчитаны на небольшие номинальные токи (6...10 А).

В качестве органов управления могут использоваться встроенные и внешние кнопки и переключатели, внешние командоконтроллеры и реле управления. Встроенные кнопки («Пуск» и «Стоп» на нереверсивных пускателях; «Вперед», «Назад» и «Стоп» на реверсивных, «Реле» для возврата теплового реле после его срабатывания) размещают на кожухе или оболочке магнитных пускателей защищенного и пылевлагозащищенного исполнения.

Ревверсивные магнитные пускатели состоят из двух одинаковых контакторов, укрепленных на общем основании и электрически заблокированных (посредством размыкающих контактов) таким образом, чтобы предотвращалось одновременное включение обоих контакторов. Кроме того, реверсивные магнитные пускатели могут иметь и механическую блокировку, которая предотвращает одновременное нажатие кнопок «Вперед» и «Назад».

По защищенности от воздействия окружающей среды магнитные пускатели бывают открытые (без кожуха или оболочки), защищенные, пылеводонепроницаемые (в металлическом или пластмассовом кожухе). Металлическая оболочка пускателей пылеводонепроницаемого исполнения имеет специальные резиновые уплотнения, предотвращающие попадание внутрь влаги и пыли.

В настоящее время наиболее широкое применение получили магнитные пускатели общепромышленного назначения серий ПМЕ и ПАЕ, менее распространены пускатели серий ПА, ПМА, ПМЛ, ПМС и малогабаритные серий Пб, ПНВ (табл. 4.1). Контактные системы серий ПМЕ, ПМЛ, ПМС, ПМА имеют прямоходовую Ш-образную или П-образную электромагнитную систему, контакторы серий ПАЕ и ПА — поворотнорычажную конструкцию.

Маркировка магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ:

– первая цифра после буквенного обозначения серии – величина (габарит) по передаваемой мощности и силе тока главных контактов (см. табл. 4.1);

– вторая цифра – исполнение по защищенности от воздействия окружающей среды (1 — открытое, 2 — защищенное, 3 — пылерызгозащищенное, 4 — пылевлагонепроницаемое);

– третья цифра — наличие реверса и теплового реле (1 — нереверсивный без теплового реле, 2 — нереверсивный с тепловым реле, 3 — реверсивный без теплового реле, 4 — реверсивный с тепловым реле).

Маркировка пускателей серии ПМА:

– первая цифра обозначает величину (габарит) по передаваемой мощности (см. табл. 4.1);

– вторая цифра — исполнение по назначению, наличию теплового реле, автоматической позисторной защиты (АПЗ) или встроенной температурной защиты (УВТЗ): 1 — без реле, нереверсивный; 2 — с реле, нереверсивный; 3 — без реле, реверсивный с электрической блокировкой; 4 — с реле, реверсивный с электрической блокировкой; 5 — без реле, реверсивный с электрической и механической блокировками; 6 — с реле, реверсивный с электрической

Т а б л и ц а 4.1 — Основные технические данные магнитных пускателей

Тип	Величина пускателя	Номинальные параметры							
		0	1	2	3	4	5	6	7
ПМЕ	I_n , А	4	10	25	—	—	—	—	—
	P , кВт	1	4	10	—	—	—	—	—
ПАЕ	I_n , А	—	—	—	40	63	100	160	—
	P , кВт	—	—	—	17	30	55	75	—
ПА	I_n , А	—	—	—	40	63	100	160	—
	P , кВт	—	—	—	17	30	55	75	—
ПМА	I_n , А	—	—	—	40	63	100	160	—
	P , кВт	—	—	—	17	30	55	75	—
ПМЛ	I_n , А	—	10	25	40	63	80	125	200
	P , кВт	—	4	10	17	30	40	55	100
ПМС	I_n , А	—	10	25	40	63	100	160	—
	P , кВт	—	4	10	17	30	55	75	—

и механической блокировкой; 7 — нереверсивный с АЗП; 8 — реверсивный с АЗП и механической блокировкой; 9 — нереверсивный с УВТЗ-1М; 0 — реверсивный с электрической и механической блокировкой и УВТЗ-1М;

– третья цифра — степень защиты и наличие кнопок: 0 — IP00 без кнопок; 1 — IP40 без кнопок; 2 — IP54 без кнопок; 3 — IP40 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 4 — IP54 с кнопками; 5 — IP40 с кнопками и сигнальной лампой; 6 — IP54 с кнопками и сигнальной лампой;

– четвертая цифра (0...9) — исполнение по роду тока цепи управления (постоянный, переменный), напряжению главной цепи (380...660 В) и числу блок-контактов;

– следующие буквы и цифры обозначают климатическое исполнение (У, УХЛ, Т), категорию размещения (2...4) и исполнение по износостойкости (А, Б, В).

Тепловые реле

Тепловые реле применяются в составе комплектных магнитных пускателей и служат для защиты электродвигателей от небольших, но длительных перегрузок (примерно до 50% номинальной величины), которые могут возникнуть из-за прохождения по обмоткам токоприемника повышенных токов, перегрузок рабочего механизма по технологическим причинам, из-за тяжелых условий пуска под нагрузкой, длительного понижения напряжения сети, обрыва одной из фаз сети, повреждения рабочего механизма.

Тепловое реле должно срабатывать при перегрузках электродвигателя свыше 20% в течение не более 20 мин с момента достижения установившейся температуры в результате нагрева номинальным током, который принимается по защитной характеристике теплового реле (рис. 4.4). Хорошо отрегулированное реле защищает электродвигатель от работы на двух фазах.

Основным рабочим органом тепловых реле является термобиметаллическая пластина, способная изгибаться при нагреве. Она состоит из двух прочно соединенных между собой разнородных металлов, обладающих различными коэффициентами температурного расширения. В качестве термоинертного металла используются сплавы инвар ЭН-36 или Н-42, в качестве термоактивного — сталь, латунь, константан и др.

Различают тепловые реле с прямым, косвенным и комбинированным нагревом. В реле прямого действия нагрев биметаллической пластины происходит при прохождении по ней тока нагрузки (их называют также тепловыми расцепителями). В реле косвенного действия нагрев пластинки происходит от расположенного в непосредственной близости нагревательного элемента, выполненного из нихрома или константана. Комбинированный нагрев сочетает оба вышеперечисленных способа.

Температурный компенсатор выполнен из биметалла с обратным прогибом по отношению к основному термoelementу. Благодаря компенсатору работа реле почти не зависит от окружающей температуры.



Рисунок 4.4 — Защитная характеристика теплового реле типа ТРН при срабатывании:

1 — с холодного состояния; 2 — с горячего состояния (после прогрева током несрабатывания)

Широкое распространение получили тепловые реле серий ТРН, ТРП, РТТ и РТЛ.

Тепловые реле типа ТРН — двухполюсные с температурной компенсацией, ручным возвратом и сменными нагревателями, открытого исполнения. Нагрев биметаллической пластинки в реле ТРН-10, ТРН-25, ТРН-40 — косвенный, в реле ТРН-10А — комбинированный. Сменные нагревательные элементы рассчитаны на следующие номинальные токи:

ТРН-8, ТРН-10А — 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,25; 1,6; 2,6; 2,5; 3,2 А;

ТРН-10 — 0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10 А;

ТРН-25 — 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 А;

ТРН-40 — 12,5; 16; 20; 25; 32; 40 А.

Срабатывание реле типа ТРН (рис. 4.5, а) происходит следующим образом. При значении тока выше допустимого биметаллическая пластина 2 нагревается от нагревательного элемента 1, изгибается и воздействует через рычаг 3 на компенсатор 4, который поворачивается и освобождает защелку 7. Пружина возврата 10 перемещает кнопку возврата 6. Контакты 8 и 9 при этом размыкаются и воздействуют через рычаг 3 на компенсатор 4. Возврат реле в исходное положение производится путем нажатия на кнопку возврата 6 после остывания биметаллической пластины 2.

Ток уставки теплового реле регулируют путем поворота эксцентрика регулятора 5, что приводит к изменению зазора между компенсатором 4 и защелкой 7. Каждое деление регулятора соответствует 5% номинального тока нагревателя (при температуре окружающей среды +40°С). При установке регулятора в положение «0» ток уставки равен номинальному току нагревателя. При установке регулятора в положение «-5» ток установки уменьшается на 25%, а в положение «+5» — увеличивается на 25% по отношению к нормальному току нагревателя.

Основным недостатком тепловых реле ТРН и ТРП является нестабильность их защитных характеристик, большая тепловая инерция, что вызывает неудовлетворительную работу при переменной нагрузке и потере фазы. Появление новых серий электродвигателей с большой нагрузкой активных материалов, возрастание

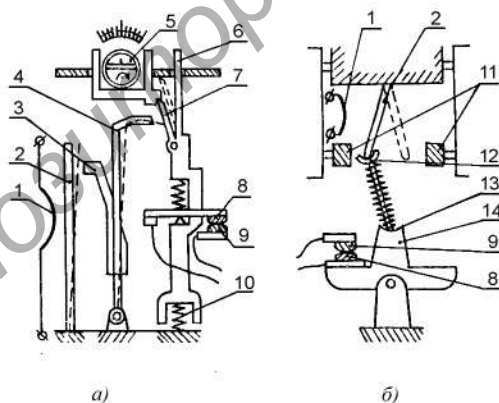


Рисунок 4.5 — Конструктивные схемы тепловых реле: типа ТРН (а) и типа ТРП (б):

- 1 — нагревательный элемент; 2 — термобиметаллическая пластина;
 3 — рычаг; 4 — компенсатор; 5 — эксцентрик регулятора;
 6 — кнопка возврата; 7 — защелка; 8 — подвижный контакт;
 9 — неподвижный контакт; 10 — пружина возврата; 11 — упоры;
 12 — рычаг с пружиной; 13 — выступ; 14 — пластмассовая колодка

скорости нагрева этих электродвигателей в аварийных режимах, применение высококачественных изоляционных материалов с большой теплостойкостью повышают требования к защите. Поэтому совершенствование защиты электродвигателей от перегрузок осуществляется в следующих направлениях:

1) замена двухполюсных реле ТРН и однополюсных ТРП на трехполюсные реле серий РТТ и РТЛ (в комплекте с пускателями серий ПМА и ПМЛ соответственно);

2) установка автоматической позисторной защиты (АПЗ) или встроенной температурной защиты (УВТЗ).

Тепловые реле серий РТТ и РТЛ обеспечивают улучшенную защитную характеристику и ускоренное срабатывание при обрыве фазы. Они имеют три термозлемента (по одному на каждую фазу), температурную компенсацию, механизм для ускоренного срабатывания при обрыве одной фазы. Пределы регулирования тока уставки – 0,75...1,25 от номинального.

Тепловые реле серии РТТ (табл. 4.2) выпускаются в пяти исполнениях по номинальному току: 0 — на 10 А, 1 — на 25 А, 2 — на 63 А, 3 — на 160 А и 4 — на 630 А. Условное обозначение реле (на примере РТТ-14БУ4) расшифровывается следующим образом:

- РТТ — реле токовое тепловое;
- первая цифра — исполнение по номинальному току (25 А);
- вторая цифра — исполнение по способу установки и присоединения (1 — нормальное; 2 — для установки на контакторах с крепежными скобами; 4 — для втычного монтажа с контакторами серии ПМА);
- Б — отсутствие ускоренного срабатывания при обрыве фазы;
- У4 — климатическое исполнение и категория размещения.

Тепловые реле серии РТЛ бывают трех исполнений по номинальному току (табл. 4.3, см. с. 54) и встраиваются в магнитные пускатели типа ПМЛ соответствующих габаритов.

Т а б л и ц а 4.2 — Основные технические данные тепловых реле РТТ

Тип реле	Номинальный ток, А	
	реле	теплого элемента
РТТ-01 (02)	10	0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10
РТТ-14	25	0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
РТТ-21	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
РТТ-31 (32)	160	63; 80; 100; 125; 160
РТТ-41	630	125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630

Т а б л и ц а 4.3 — Основные технические данные тепловых реле серии РТЛ

Тип реле	Пределы регулирования номинального тока несрабатывания, А	Мощность управляемого электродвигателя, кВт (при напряжении 380 В)
РТЛ-1001	0,1...0,17	—
РТЛ-1002	0,16...0,26	—
РТЛ-1003	0,24...0,4	—
РТЛ-1004	0,38...0,65	—
РТЛ-1005	0,61...1,0	—
РТЛ-1006	0,95...1,6	0,37
РТЛ-1007	1,5...2,6	0,75
РТЛ-1008	2,4...4,0	1,5
РТЛ-1010	3,8...6,0	2,2
РТЛ-1012	5,5...8,0	3,0
РТЛ-1014	7,0...10,0	4,0
РТЛ-1016	9,5...14,0	5,5
РТЛ-1021	13...19	7,5
РТЛ-1022	18...25	11
РТЛ-2053	23...32	15
РТЛ-2055	30...41	18,5
РТЛ-2057	38...52	22
РТЛ-2059	47...64	25
РТЛ-2061	54...74	30
РТЛ-2063	63...86	37
РТЛ-3105	75...105	55
РТЛ-3125	95...125	63
РТЛ-3160	115...160	80
РТЛ-3200	145...200	100

Выбор аппаратуры автоматического управления заключается в выборе магнитного пускателя, теплового реле, сменных нагревательных элементов и установке регулятора тока уставки в определенное положение.

Магнитные пускатели выбирают по назначению, величине или габариту (передаваемая мощность), защищенности, наличию тепловых реле, числу и роду блок-контактов, номинальному напряжению втягивающей катушки и наличию механической блокировки (в реверсивных пускателях). Напряжение, указанное на втягивающей катушке магнитного пускателя, должно соответствовать напряжению сети. В сетях 220/380 В можно использовать катушки на 220 В и включать их на линейное напряжение.

При выборе теплового реле сначала определяют его серию и габарит в соответствии с типом и величиной магнитного пускателя. Пускатели серий ПМЕ и ПАЕ с номинальным током главных контактов до 40 А (0...3 величины) комплектуются тепловыми реле ТРН, начиная с четвертого габарита — реле ТРП. В пускатели серий ПМА и ПМЛ встраивают трехполюсные реле серий РТТ и РТЛ соответственно.

Для выбора нагревательных элементов и корректировки тока уставки реле поступают следующим образом:

- 1) определяют номинальный ток электродвигателя $I_{\text{ДВ.НОМ}}$;
- 2) выбирают нагревательный элемент, соответствующий номинальному току электродвигателя и нулевой уставке реле, при этом ток нагревателя должен быть больше тока защищаемого двигателя $I_{\text{ТР.НОМ}} \geq I_{\text{ДВ.НОМ}}$ и не должен превышать его более чем на 25%;
- 3) определяют положение регулятора корректировкой на несоответствие тока электродвигателя току нагревательного элемента с учетом цены деления шкалы ($C = 0,05 I_{\text{ТР.НОМ}}$ и $C = 0,055 I_{\text{ТР.НОМ}}$ соответственно при открытом и закрытом исполнении реле) и поправкой на разность температур окружающей среды двигателя и пускателя. Количество делений шкалы для корректировки несоответствия тока:

$$N_1 = (I_{\text{ДВ.НОМ}} - I_{\text{ТР.НОМ}}) / (C \cdot I_{\text{ТР.НОМ}}).$$

Корректировка по температуре окружающей среды $\Theta_{\text{ОКР}}$ выполняется только в том случае, если она меньше номинальной температуры 40°C, при этом одно деление шкалы соответствует изменению температуры на 10°C:

$$N_2 = (40^\circ - \Theta_{\text{ОКР}}) / 10^\circ.$$

Расчетное значение N делений шкалы для корректировки:

$$N = N_1 + N_2.$$

Если значение N окажется дробным, то его округляют до целого в большую сторону.

При выборе тока уставки для реле типа ТРН необходимо иметь в виду, что пределы регулирования $\pm 25\%$ относятся к нагревателям с неопределенным номинальным током (предельный ток нагревателя — соответствующий номинальному току реле, например, для реле ТРН-10 предельный ток нагревателя равен 10 А). Для предельных нагревателей пределы регулирования будут равны $-25...+5\%$ от номинального тока.

Рассмотрим пример выбора и настройки магнитного пускателя и теплового реле для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя типа 4А180М4У3 при напряжении питания 380 В и нереверсивной схеме управления. Номинальные характеристики электродвигателя: мощность

$P_{\text{дв. ном}} = 22 \text{ кВт}$, сила тока $I_{\text{дв. ном}} = 56 \text{ А}$. Предполагается, что пускозащитная аппаратура будет размещена в шкафу управления, расчетная температура окружающей среды $\Theta_{\text{окр}} = 20^\circ\text{C}$. В нереверсивной цепи управления электродвигателем необходим один замыкающий контакт для шунтирования кнопки «Пуск» (см. рис. 4.1, с. 42).

Принимаем нереверсивный магнитный пускатель типа ПАЕ-412 открытого исполнения 4-й величины (номинальный ток контактов — 63 А, мощность управляемого электродвигателя — до 30 кВт) с двумя замыкающими блок-контактами. Для защиты от перегрузок используем два однополюсных тепловых реле типа ТРП-60 с номинальным током нагревательных элементов $I_{\text{тр. ном}} = 60 \text{ А}$.

Количество делений шкалы для корректировки тока:

$$N_1 = (56 - 60) / (0,05 \cdot 60) = 1,33.$$

Количество делений шкалы для компенсации температуры среды:

$$N_2 = (40^\circ - 20^\circ) / 10^\circ = 2.$$

Получим $N = -1,33 + 2 = 0,67$. Следовательно, регулятор теплового реле следует установить в положение «+1».

4.5 Контрольные вопросы

1. Объясните назначение, устройство и принцип действия магнитного пускателя.
2. На основе каких данных и как выполняется выбор магнитного пускателя и теплового реле?
3. Как расшифровывается маркировка магнитных пускателей и тепловых реле?
4. Перечислите и поясните способы блокировок, применяемых в реверсивных магнитных пускателях.
5. Поясните работу схем нереверсивного и реверсивного управления короткозамкнутого асинхронного электродвигателя.
6. Объясните назначение, устройство и принцип действия теплового реле.
7. По каким параметрам выбирают тепловое реле?
8. Какие виды защиты обеспечивает использование магнитного пускателя с тепловым реле?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Цели работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и правила выбора автоматических выключателей, предохранителей и устройств защитного отключения.
2. Произвести выбор устройств защиты для трехфазного потребителя электроэнергии.
3. Собрать и включить в работу электрическую цепь с использованием аппаратов защиты.

5.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Изучите необходимые разделы в рекомендуемой литературе, а также теоретические сведения, приведенные в п. 5.4.
2. Вычертите схему лабораторной установки.
3. Запишите паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.

5.2 Объект и средства исследования

На рабочем месте имеются следующие аппараты защиты:

- автоматический выключатель типа АП-50-3МТ с тепловым расцепителем и электромагнитным расцепителем максимального тока: номинальное напряжение — 500 В при частоте 50 Гц, номинальный ток тепловых расцепителей — 6,3 А, кратность тока отсечки — $10I_{\text{ном}}$;
- автоматический выключатель А3161 с тепловым расцепителем: номинальное напряжение — 220 В с частотой 50 Гц, номинальный ток — 50 А;
- трехполюсный автоматический выключатель «Щит» ВА-3Р с тепловым расцепителем и электромагнитным расцепителем максимального тока: номинальное напряжение — 415 В с частотой 50 Гц, номинальный ток — 6 А, тип защитной характеристики — С;
- однополюсный автоматический выключатель «Щит» ВА-77-29-1: номинальное напряжение — 220 В с частотой 50 Гц, номинальный ток — 40 А, тип защитной характеристики — С;
- выключатель дифференциального тока (УЗО) «Щит» ВДТ-1241: номинальное напряжение — 380 В при частоте 50 Гц, номинальный ток — 16 А, тип зависимости от напряжения — электронный, отключающий дифференциальный ток — 30 мА, тип защитной характеристики — С;

- автоматический выключатель АЕ-2033-10: номинальное напряжение — 380 В при частоте 50—60 Гц, номинальный ток — 1,6 А, кратность тока отсечки — 12;
- автоматический выключатель АЗ1: номинальный ток — 50 А, 500 В, 50 Гц, ток электромагнитного расцепителя — 1 000 А.

5.3 Порядок выполнения работы

1. Изучите устройство, принцип действия, основные характеристики, правила выбора и подключения предохранителей, автоматических выключателей, устройств защитного отключения, имеющихся на рабочем месте.

2. Для исходных данных (по указанию преподавателя) произведите выбор аппаратов защиты: предохранителя, автоматического выключателя, устройства защитного отключения.

3. Соберите и включите в работу электрическую цепь с использованием аппаратов защиты и трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя.

5.4. Основные теоретические сведения

В зависимости от характера возможных повреждений или ненормальных режимов работы электроустановок различают следующие наиболее распространенные виды защиты электроустановок:

1. *Тепловая.* Используется для защиты от перегрева при сравнительно небольших по величине (125...300% от номинального тока $I_{НОМ}$), но продолжительных перегрузках. Осуществляется с помощью тепловых расцепителей, встроенных в автоматические выключатели, или тепловых реле (в составе комплектных магнитных пускателей). Отключение производится с выдержкой времени, обратнозависимой от тока перегрузки — чем больше перегрузка, тем меньше выдержка времени.

2. *Максимально-токовая (максимальная).* Применяется для защиты электродвигателей от токов короткого замыкания или чрезмерно больших толчков тока, которые могут возникнуть в результате заклинивания рабочего механизма, нестабильной загрузки рабочей машины и т. д. Осуществляется с помощью предохранителей, электромагнитных расцепителей максимального тока, встроенных в автоматические выключатели, или электромагнитных реле максимального тока (для наиболее ответственных объектов: мощных электродвигателей или электрических сетей).

3. *Встроенная температурная защита типа УВТЗ.* Защищает электродвигатели от недопустимого перегрева. В качестве датчика температуры используются полупроводниковые элементы (позисторы), встраиваемые в лобовые части обмотки электродвигателя. В комплект УВТЗ входит управляющее устройство, состоящее из преобразователя и исполнительного реле. При срабатывании УВТЗ отключает цепь питания катушки магнитного пускателя.

4. *Минимальная.* Используется для отключения электродвигателя от сети при снижении напряжения ниже установленного, что могло бы привести к перегреву или «опрокидыванию» электродвигателя вследствие снижения вращающего момента, исчезновения напряжения, а также от самозапуска при восстановлении напряжения. Осуществляется с помощью магнитных пускателей и контакторов, у которых напряжение размыкания составляет $(0,4...0,5) U_N$, а также автоматических выключателей, оснащенных электромагнитным расцепителем минимального напряжения. Для более ответственных электроустановок минимальная защита осуществляется с помощью электромагнитного реле напряжения.

5. Защита электродвигателей от работы на двух фазах (неполнофазный режим) осуществляется *включением нагревательных элементов теплового реле в рассечку двух фаз*, питающих электродвигатель. Более надежная защита электродвигателей от работы на двух фазах осуществляется с помощью реле обрыва фаз (например, типа Е-511) или реле обрыва фаз, состоящего из реле напряжения, включаемого между нулевым проводом и нейтралью «звезды» из трех конденсаторов. При перегрузке или обрыве одной из фаз реле срабатывает и своими контактами отключает от сети магнитный пускатель.

Для защиты электродвигателей от работы в неполнофазном режиме также используется *устройство фазочувствительной защиты*, реагирующее на изменение угла сдвига фаз между токами нагрузки электродвигателя. Устройство надежно защищает электродвигатель от неполнофазного режима и больших перегрузок, что имеет место при потере фазы и заклинивании ротора.

6. Защита человека от поражения электрическим током (током утечки) при случайном прикосновении к токоведущим частям или поверхности оборудования осуществляется с помощью *устройств защитного отключения (УЗО) и дифференциальных автоматических выключателей (дифавтоматов)*.

Предохранители

Предохранители — наиболее дешевые и простые из аппаратов, предназначенных для защиты электрических цепей от токов короткого замыкания и токов перегрузки. Предохранители (рис. 5.1, см. с. 60) включаются между контактами линейного контактора КМ и выключателя SQ напряжения сети.

Предохранитель представляет собой корпус, в который вмонтировано контактное устройство, поддерживающее металлическую плавкую вставку. Элементом, реагирующим на увеличение тока в цепи, является плавкая вставка, представляющая собой проволоку или пластину из легкоплавких (цинк, алюминий, свинец, сплав свинца с оловом) и тугоплавких (медь, серебро) металлов и их сплавов.

Работу плавкой вставки можно условно разделить на три этапа: нагрев повышенным током электрической установки до температуры плавления, плавление вставки и ее испарение, гашение электрической дуги, образовавшейся на месте вставки.

Зависимость продолжительности работы плавкой вставки, через которую протекает ток перегрузки, от величины этого тока, называется защитной (ампер-секундной, время-токовой) характеристикой (рис. 5.2, см. с. 60). Защитная

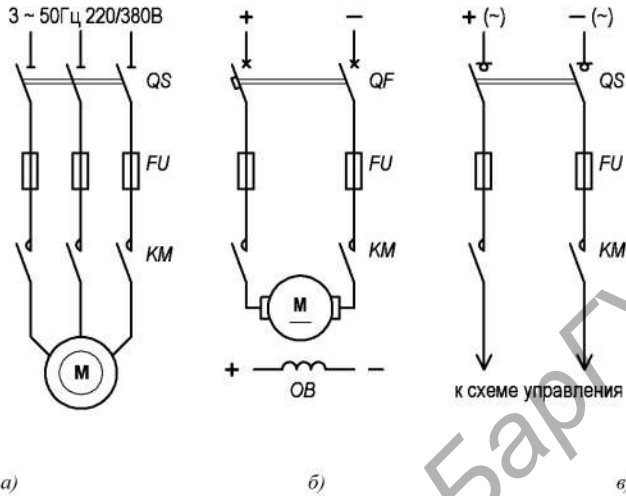


Рисунок 5.1 — Узлы схем защиты двигателей переменного (а) и постоянного (б) тока, цепей управления (в), осуществляемые плавкими вставками предохранителей

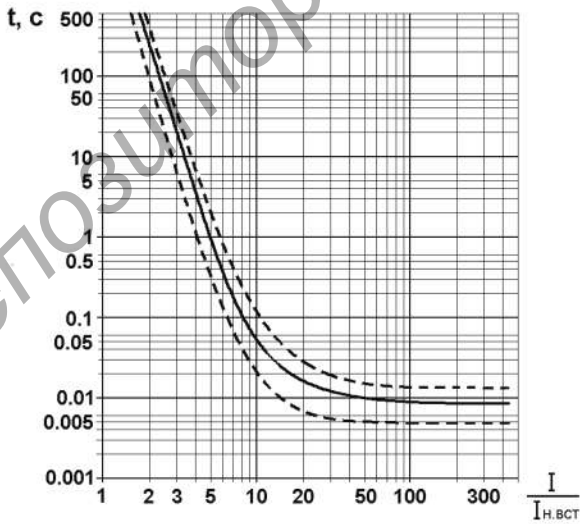


Рисунок 5.2 — Защитная характеристика плавкой вставки предохранителя

характеристика плавкой вставки существенно зависит от условий окружающей среды (температура, теплоотдача), продолжительности эксплуатации предохранителя и ряда других факторов (неодинаковый диаметр проволоки по длине, уменьшение его вследствие окисления металла, нарушения контактного соединения) и др. Поэтому защитная характеристика может изображаться довольно обширной зоной.

Выбранная плавкая вставка калибруется так, чтобы она не сгорела при токе $I = (1,2...1,5) I_{НОМ}$, где $I_{НОМ}$ — номинальный ток плавкой вставки, а при токе $I = 1,75 I_{НОМ}$ сгорела за 1 ч. Следовательно, плавкая вставка практически не обеспечивает защиту установки от тока перегрузки менее 50%.

В современных конструкциях предохранителей используются различные способы гашения электрической дуги, образовавшейся на месте плавкой вставки: гашения дуги газами, выделяющимися под действием высокой температуры из твердого дугогасящего материала (фибра, органическое стекло, винипласт и др.); ступенчатая форма плавкой вставки, благодаря чему она сгорает в своей узкой части, а не по всей длине. Как способ снижения температуры плавления применяются плавкие вставки с «металлургическим эффектом» (наложение на плавкую вставку шарика из легкоплавкого металла), заполнение полости предохранителя мелкозернистым наполнителем (кварцевый песок или тальк).

Достоинством предохранителей является их простота и дешевизна. Существенными недостатками являются:

- 1) большой разброс токов срабатывания;
- 2) вероятность длительной работы электродвигателя на двух фазах при перегорании одной из вставок;
- 3) зависимость времени перегорания от состояния контактов вставки, температуры и влажности окружающего воздуха;
- 4) изменение характеристик (старение) при длительной эксплуатации.

Предохранители напряжением до 1 000 В выбирают по номинальному напряжению, номинальному току плавкой вставки, предельной разрывной способности патрона и с учетом селективности (избирательности) действия.

Номинальным напряжением предохранителя называется предельное напряжение сети, в котором может применяться данный предохранитель. Необходимо, чтобы номинальное напряжение предохранителя равнялось либо было больше напряжения сети.

Номинальным током плавкой вставки $I_{Н.ВСТ}$ называется ток, который может протекать по плавкой вставке неограниченно длительное время, не вызывая ее нагрева выше 60...70°C. Номинальный ток плавкой вставки определяется по следующим выражениям:

- 1) для электродвигателей переменного тока с фазным ротором и постоянного тока с реостатным пуском их при полной и тяжелой нагрузке, у которой обычно пусковой ток $I_{П} = (2,0...2,5) I_{Н.ДВ}$:

$$I_{Н.ВСТ} = (1,0...1,25) I_{Н.ДВ},$$

где $I_{Н.ДВ}$ — номинальный ток электродвигателя;

2) для тех же электродвигателей, но при 50% нагрузке, а также с шунтированием плавких вставок на период пуска:

$$I_{H. ВСТ} = 0,8 I_{H. ДВ};$$

3) для электродвигателей с учетом пускового тока:

$$I_{H. ВСТ} = k_1 I_{H. ДВ} / \alpha,$$

где k_1 — кратность пускового тока электродвигателя;

α — коэффициент, зависящий от продолжительности и частоты пуска ($\alpha = 3$ при редких пусках с продолжительностью до 2,5 с; $\alpha = 2,5$ при нечастых пусках с продолжительностью от 2,5 до 10 с; $\alpha = 2,5 \dots 1,6$ при частых пусках с продолжительностью более 10 с);

4) для установок с изолированными нагревательными проводами:

$$I_{H. ВСТ} = I_{НП} / 1,3,$$

где $I_{НП}$ — номинальный ток нагревательного провода;

5) для систем освещения и электронагревательных устройств:

$$I_{H. ВСТ} = I_{H. ЭУ},$$

где $I_{H. ЭУ}$ — номинальный ток электроустановки;

6) для схем управления электроприводами:

$$I_{H. ВСТ} = 2,5 I_{УПР},$$

где $I_{УПР}$ — суммарный ток одновременно включенных аппаратов;

7) для группового предохранителя:

$$I_{I. \text{АН}0} = \frac{I_{I. \text{АН}N} + q \sum_{i=1}^{n-1} k_{\zeta} I_{D i N 0}}{2,5},$$

где $I_{I \text{МАКС}}$ — наибольший пусковой ток электроустановки;

q — коэффициент одновременности;

k_3 — коэффициент загрузки;

$\sum_{i=1}^{n-1} k_{\zeta} I_{D i N 0}$ — сумма рабочих токов остальных электроустановок;

n — количество электроустановок.

Вычислительное значение тока плавкой вставки округляют до ближайшего номинального тока стандартной плавкой вставки.

Номинальным током патрона называется ток, равный наибольшему из номинальных токов плавких, которые могут быть установлены в данный патрон. В патрон можно вставлять плавкую вставку, ток которой не превышает номинального тока патрона.

Предельная разрывная способность патрона определяется величиной тока короткого замыкания плавкой вставки, при котором происходит его разрушение. Для патронов предельная разрывная способность в 12...100 раз больше номинального тока.

В настоящее время используется несколько основных серий предохранителей для защиты электрических установок:

ПН2 — с песчаным наполнителем, фарфоровым корпусом и сменной медной пластинчатой плавкой вставкой. Подлежит замене предохранителями серии ПП32;

ПР2 — без наполнителя, со сменным плавким элементом. Подлежит замене серией ПП32;

ПДС — резьбовые с наполнителем (кварцевый песок) и визуальным указателем срабатывания. Сменная плавкая вставка удерживается керамической головкой, ввинчиваемой в его резьбу;

ПРС — резьбовые в пластмассовом корпусе, имеющие соответствующий цвет индикатора и гильзы в зависимости от номинального тока плавкой вставки;

ПП17-3970 — с закрытым патроном с наполнителем и указателем срабатывания, одним замыкающим или размыкающим свободным контактом;

ПП31 — с указателем срабатывания и свободными контактами;

ПП71 — для защиты полупроводниковых приборов в условиях постоянного воздействия центробежных ускорений;

ПП32 — для защиты электроустановок и сетей на всех видах производства. По техническому уровню соответствует лучшим зарубежным аналогам.

Автоматические выключатели

Автоматические выключатели служат для нечастых (не более 6...30 раз в час) оперативных коммутаций электрических цепей и электроустановок и их защиты от аварийных режимов работы. Автоматические выключатели различаются по назначению, роду тока и величине напряжения, наличию тех или иных расцепителей и их конструкции, номинальному току срабатывания расцепителей, числу полюсов, наличию свободных контактов, способу монтажа (присоединения внешних проводников).

Наиболее широкое распространение получили следующие типы автоматических выключателей: АП50(Б), А3100, АЕ-2000, А63, АК50, А3700, ВА14, ВА19, ВА21, ВА47, ВА77 и др. Контактная система и механизм автоматического выключателя монтируется на пластмассовой панели (рис. 5.3, см. с. 64).

Автоматический выключатель оборудуется подвижными и неподвижными контактами, дугогасительным устройством. Для воздействия на защелку отключающего механизма применяются один или несколько расцепителей, отключающих их главные контакты. Автоматические выключатели могут иметь:

- 1) тепловой расцепитель;
- 2) электромагнитный расцепитель максимального тока;
- 3) электромагнитный расцепитель максимального напряжения;
- 4) электромагнитный расцепитель минимального напряжения;
- 5) электромагнитный расцепитель максимального тока в нулевом проводе;

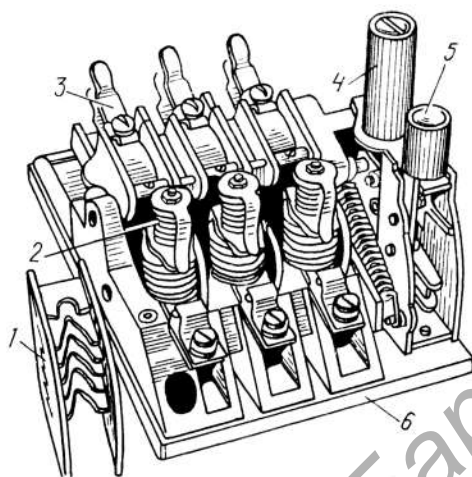


Рисунок 5.3 — Устройство автоматического выключателя АП-50 (АП-50Б):

- 1 — дугогасительная камера; 2 — электромагнитный расцепитель;
 3 — силовые контакты; 4 — кнопка «Пуск»;
 5 — кнопка «Стоп»; 6 — основание

б) один либо несколько замыкающих или размыкающих дополнительных блок-контактов.

Тепловой расцепитель действует так же, как и тепловое реле магнитного пускателя (рис. 5.4). Ток, проходя по нагревательному элементу 4, нагревает биметаллическую пластину 3, которая снимает защелку 2 и освобождает пружину 1 и тем самым производит отключение силовых контактов 5.

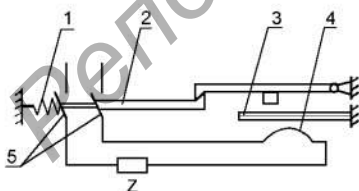


Рисунок 5.4 — Схема действия теплового расцепителя:

- 1 — пружина; 2 — защелка;
 3 — биметаллическая пластина;
 4 — нагревательный элемент;
 5 — контакты

Тепловой расцепитель срабатывает с выдержкой времени, обратнозависимой от тока. Из холодного состояния при температуре окружающей среды 40°C и нагрузке $1,1 I_{уст. ном}$ тепловой расцепитель срабатывает не менее чем через час, при нагрузке $1,35 I_{уст. ном}$ — не более чем через 30 мин, а при $6 I_{уст. ном}$ — не более чем за 2...10 с. Там, где имеются автоматические выключатели с калиброванными расцепителями, не требуется устанавливать плавкие вставки предохранителей и тепловые реле.

В электромагнитном расцепителе минимального (нулевого) напряжения или тока (рис. 5.5, *а*) катушка 3 удерживает сердечник 4 и связанную с ним защелку 2 до тех пор, пока напряжение сети, а следовательно, и ток в катушке не снизится до установившегося предельного значения (40...50% от номинального) или исчезнет совсем, после чего сердечник 4 отпускается и защелка освобождает пружину 1. Под действием пружины 1 цепь силовых контактов 5 разрывается.

В электромагнитном расцепителе минимального тока (рис. 5.5, *б*) при возникновении короткого замыкания (быстрое достижение током установленного предельного значения) катушка 3 втягивает стальной сердечник 4 и освобождает защелку 2, которая под действием пружины 1 разрывает силовые контакты 5.

Номинальный ток срабатывания расцепителя максимального тока (ток отсечки) определяется типом защитной характеристики автоматического выключателя в кратности по отношению к его номинальному току (согласно ГОСТ Р 50345-99 и МЭК 60898-95) (рис. 5.6, см. с. 66):

тип В — (3...5) $I_{уст. ном}$ — преимущественно для защиты кабелей и цепей в жилых домах (цепи освещения, розетки);

тип С — (5...10) $I_{уст. ном}$ — для защиты кабелей, цепей и в приборах с повышенным пусковым током (группы ламп, электродвигатели и т. д.);

тип D — (10...50) $I_{уст. ном}$ — для защиты кабелей и цепей с приборами, имеющими очень большие пусковые токи (сварочные трансформаторы, электродвигатели и т. д.).

Электромагнитные расцепители срабатывают практически мгновенно — собственное время срабатывания составляет 0,02...0,04 с. Чтобы «взвести» автоматический выключатель после срабатывания, рукоятку сначала возвращают в положение «Отключено», а затем спустя 2...4 мин (если сработал тепловой расцепитель) или сразу же (при срабатывании электромагнитного расцепителя) выполняют повторное включение.

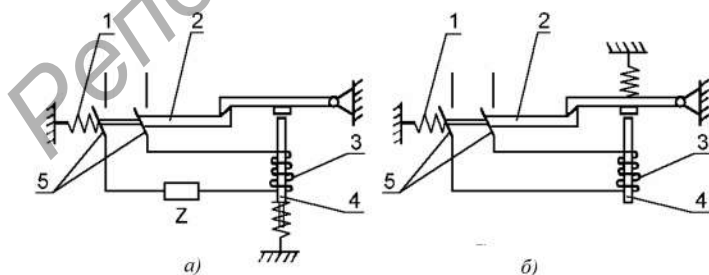
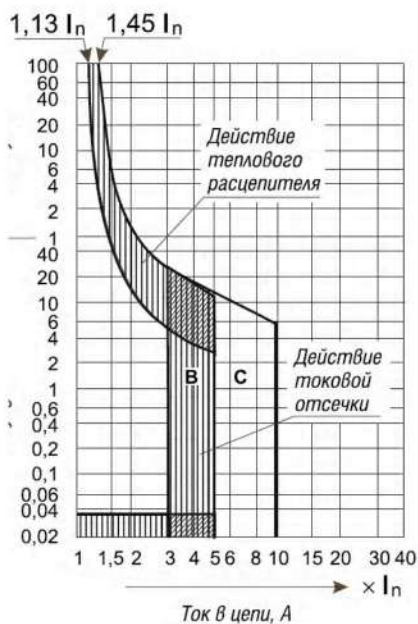
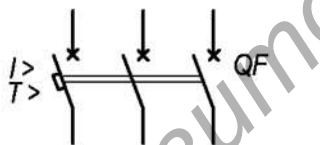


Рисунок 5.5 — Схемы действия электромагнитных расцепителей минимального напряжения (*а*); максимального тока (*б*):

1 — пружина; 2 — защелка; 3 — катушка; 4 — стальной сердечник; 5 — контакты



а)



б)

Рисунок 5.6 — Защитная характеристика (а) и условное обозначение (б) автоматического выключателя с тепловым расцепителем и электромагнитным расцепителем максимального тока

Маркировка автоматических выключателей типа АП50: АП — автомат промышленный; 50 — наибольший ток в амперах; цифра после тире (2 или 3) — число расцепителей; М — электромагнитный расцепитель, Т — тепловой расцепитель, Н — расцепитель минимального напряжения (О — расцепитель максимального тока в нулевом проводе); ~500 — номинальное напряжение при переменном токе; 220 В — номинальное напряжение при постоянном токе; 1,6 А — номинальный ток автоматического выключателя (1,6, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 40 или 50 А); отсечка 11 I_n — электромагнитный расцепитель срабатывает при 11-кратном номинальном токе (3, 5, 7, 9, 11 или 13); 1 Б/К перекл. — наличие одной пары переключающих блок-контактов.

Маркировка автоматических выключателей серии «Щит» (на примере ВА-77-29-3): ВА — выключатель автоматический; 77 — серия; 29 — группа по номинальному току (77 — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50 или 63 А; 31 — 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80 или 100 А); 3 — количество полюсов (1, 2 или 3).

Маркировка автоматических выключателей типа ВА-21 (на примере ВА-21-29В-320010-54У3): ВА — выключатель автоматический; 21—29 — серия; В — с повышенной отключающей способностью (Т — для городского электрифицированного транспорта, однополюсные); 3 — число полюсов

(1, 2 или 3); 2 — электромагнитный расцепитель (0 — отсутствует; 4 — электромагнитный с гидравлическим замедлением срабатывания); 00 — без дополнительных устройств (11 — со свободными контактами 13, 1Р; 18 — независимый расцепитель со свободным контактом 1Р; 22 — со свободными контактами 23 и 2Р; 28 — независимый расцепитель со свободными контактами 13 и 2Р); 1 — стационарное исполнение; 0 — без дополнительных устройств (6 — устройство блокировки в положении «Отключено»);

54 — в дополнительной оболочке, степень защиты IP54 (00 — открытое исполнение со степенью защиты IP00, 20 — открытое исполнение с клеммными крышками, степень защиты IP20); У — для эксплуатации в условиях умеренного климата (Т — тропический климат); 3 — категория размещения (2 — для эксплуатации вне помещения под навесом, 3 — для эксплуатации в неотапливаемом помещении).

Выбор автоматических выключателей осуществляется по номинальному напряжению, величине тока, числу полюсов, виду защиты и способу защиты от воздействия окружающей среды. Например, для использования в неблагоприятных условиях среды автоматический выключатель типа АП50 устанавливают в пыленепроницаемую оболочку из алюминиевого сплава (силумина).

Номинальные токи автоматического выключателя и установок распределителей следует выбирать по расчетному току цепи и возможному току перегрузки. Между номинальным током уставки теплового расцепителя $I_{уст.н}$ и рабочим током цепи I_p должно выполняться условие

$$I_{уст.н} \geq 1,25 I_{РАБ}.$$

При выборе тока уставки теплового расцепителя необходимо учитывать температуру окружающей среды $\Theta_{окр}$:

$$I_{уст.н} \geq 1,25 I_{РАБ} / \alpha,$$

где $\alpha = 1 + 0,006 (40^\circ\text{C} - \Theta_{окр})$ — коэффициент пропорциональности.

Установку тока срабатывания теплового расцепителя в случае несовпадения расчетной величины $I_{уст.н}$ и номинальной величины уставки тока теплового расцепителя автоматического выключателя типа АП50 изменяют в пределах $(0,6 \dots 1) I_{уст.н}$ поворотом регулировочного рычага уставки.

Ток электромагнитного расцепителя $I_{эм}$ для питания одиночных электродвигателей постоянного тока и асинхронных электродвигателей переменного тока находят по формуле

$$I_{эм} = 1,25 I_{п},$$

где $I_{п}$ — пусковой ток электродвигателя, А.

Для группы электродвигателей учитывается пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя $I_{пуск\max}$ и суммарный ток остальных:

$$I_{\Sigma} = 1,25 \left(\sum_{i=1}^{n-1} I_{Di} + I_{I \in \mathbb{N}} \right),$$

где n — число электродвигателей.

В зависимости от расчетного значения тока электромагнитного расцепителя выбирают кратность тока отсечки (тип защитной характеристики): ток отсечки $I_{\text{ЭМ}} \leq 3I_{\text{УСТ. НОМ}}$ соответствует типу А защитной характеристики, в пределах $(3 \dots 5)I_{\text{УСТ. НОМ}}$ — типу В и $(5 \dots 10)I_{\text{УСТ. НОМ}}$ — типу С (см. рис. 5.6, а, с. 66).

Необходимо убедиться, что ток отсечки (ток срабатывания электромагнитного расцепителя) выбранного автоматического выключателя соответствует электродвигателю или электроустановке — кратность пускового тока двигателя должна быть меньше кратности тока отсечки. При соблюдении этого условия автоматический выключатель будет соответствовать условиям пуска защищаемой электроустановки.

Устройства защитного отключения и дифференциальные автоматические выключатели

Устройства защитного отключения (УЗО) предназначены для ограничения продолжительности протекания тока через тело человека при прикосновении его к находящимся под напряжением элементам установки, а также для защиты от возгорания из-за возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования. УЗО реагирует на токи утечки на землю или защитный проводник и заблаговременно, до развития короткого замыкания, отключает электроустановку от источника питания.

Основным узлом УЗО является дифференциальное токоизмерительное устройство 1 (рис. 5.7), которое постоянно измеряет разницу I_{Δ} между значением тока на входе и выходе цепи. Если эта разница превышает определенное пороговое значение, то срабатывает расцепитель 3 и отключает питание электроустановки.

В большинстве УЗО в качестве датчика тока используются дифференциальные трансформаторы тока. Пороговый элемент 2 выполняется на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия (в электромеханических УЗО) или на электронных компонентах. Исполнительный механизм 3 состоит из силовой контактной группы и механизма привода.

При отсутствии тока утечки (дифференциального тока) в силовой цепи по проводникам, проходящим через окно магнитопровода трансформатора тока 1, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные обмотки дифференциального трансформатора тока, по которым протекают в нормальном режиме равные между собой токи по направлению к нагрузке I_1 и от нагрузки I_2 . Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитопроводе равные встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, и ток во вторичной обмотке трансформатора также равен нулю.

В случае прикосновения человека к открытым токоведущим частям или корпусу электроприемника, в котором произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО протекает дополнительный ток

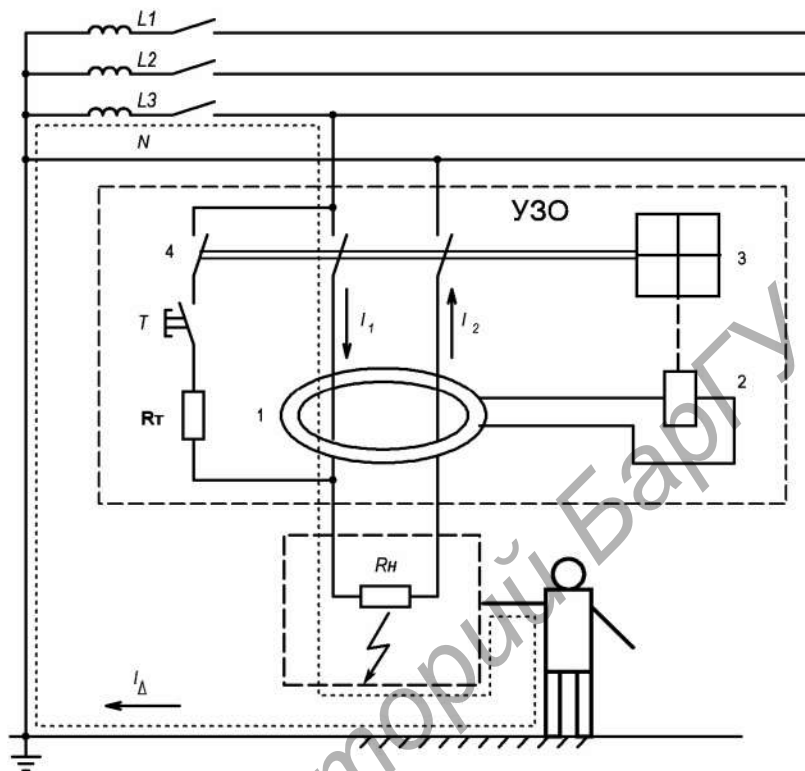


Рисунок 5.7 — Устройство защитного отключения электронного типа:

- 1 — дифференциальный трансформатор тока; 2 — пороговый элемент;
3 — исполнительный механизм; 4 — цепь тестирования

утечки I_{Δ} . Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, состоящий из пружины привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает цепь нагрузки.

Для контроля работоспособности УЗО предназначена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки Т («Тест») искусственно создается отключающий дифференциальный ток, исправное УЗО срабатывает и отключает цепь.

По конструкции УЗО разделяются на два типа:

1) электромеханические, функционально не зависящие от напряжения питания. Источником энергии для отключения поврежденной цепи является сам сигнал — дифференциальный ток;

2) электронные, исполнительный механизм которых для срабатывания нуждается в энергии от контролируемой сети либо от внешнего источника.

Современные УЗО с номинальным током до 100 А имеют унифицированные размеры с другими аппаратами управления и защиты (рис. 5.8) и предназначены для монтажа на DIN-линейку шириной 35 мм.

Маркировка УЗО-Д40 (на примере УЗО-Д40 2240-УХЛ4-АС): Д40 — серия; 2 — число полюсов; 2 — значение номинального дифференциального тока (1 — 10 мА, 2 — 30 мА); 40 — номинальный ток УЗО (16, 25, 32, 40 или 50 А); УХЛ — климатическое исполнение (умеренно-холодный климат); 4 — категория размещения (для закрытых отапливаемых помещений); АС — тип защитной характеристики (тепловая защита и защита от коротких замыканий при кратности свыше $5I_N$).

Маркировка УЗО «Щит» (на примере ВДТ-1241): 1 — группа по номинальному току нагрузки (1 — 16 А, 2 — 25 А, 3 — 32 А, 4 — 40 А, 5 — 50 А, 6 — 63 А, 7 — 80 А, 8 — 100 А); 2 — группа по номинальному отключающему дифференциальному току (1 — 10 мА, 2 — 20 мА, 3 — 100 мА, 4 — 300 мА, 5 — 500 мА); 4 — количество полюсов (2 или 4); 1 — классификация по конструкции (1 — электронный, 2 — электромеханический).

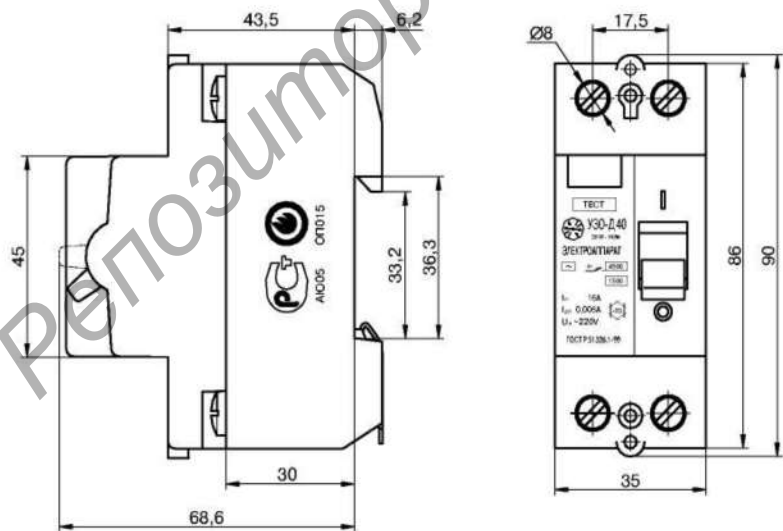


Рисунок 5.8 — Общий вид и габаритные размеры двухполюсного УЗО типа Д-40 для монтажа на DIN-линейку шириной 35 мм

Дифференциальный автоматический выключатель (дифавтомат) представляет собой комбинацию автоматического выключателя и устройства защитного отключения по принципу «два в одном». Механизм размыкания силовых контактов запускается при воздействии на него любого из трех элементов (рис. 5.9):

- 1) электромагнитного расцепителя максимального тока, реагирующего на ток короткого замыкания;
- 2) теплового расцепителя, срабатывающего при небольших продолжительных перегрузках;
- 3) расцепителя дифференциального тока, реагирующего на токи утечки.

Отключающий дифференциальный ток желательно *выбирать* в соответствии с видом сети: осветительная сеть — 30 мА; распределительные розетки — 30 мА (в детской и ванной комнатах — 10 мА); розетки для питания электрооборудования, работающего на земле — 10 мА.

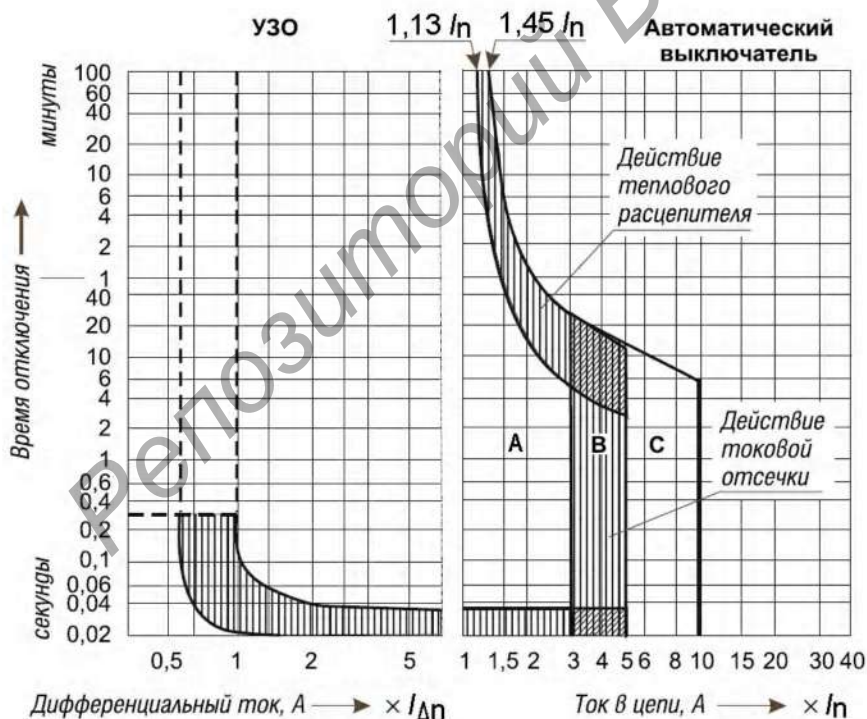


Рисунок 5.9 — Защитная характеристика дифференциального автоматического выключателя

Следует иметь в виду, что устройства защиты с дифференциальным током 300 мА не обеспечивают защиты человека и предназначены только для предотвращения возгорания и пожаров из-за неисправности электропроводки.

Выбор остальных параметров дифавтомата (номинального тока теплового и электромагнитного расцепителей) производится в той же последовательности, как и для автоматического выключателя.

5.5 Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия предохранителей.
2. Какие способы используются для снижения температуры плавления плавкой вставки и предотвращения дуги?
3. Объясните правила выбора предохранителей для защиты электроустановок.
4. Каким образом обеспечивается селективность работы аппаратов защиты?
5. Какие виды защит встраиваются в автоматические выключатели?
6. Объясните принцип действия электромагнитного расцепителя максимального тока.
7. Объясните принцип действия теплового расцепителя.
8. Объясните принцип действия электромагнитного расцепителя минимального напряжения.
9. Поясните принцип действия устройства защитного отключения.
10. По каким параметрам выбираются автоматические выключатели и УЗО?

Литература

1. *Касаткин, С. И.* Электротехника / С. И. Касаткин, М. В. Немцов. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 440 с.
2. Электротехника : учеб. для неэлектрич. специальностей вузов / под ред. В. Г. Герасимова. — М. : Высш. шк., 1985. — 480 с.
3. *Борисов, Ю. М.* Электротехника : учеб. для ВУЗов / Ю. М. Борисов, Д. Н. Липатов, Ю. И. Зорин. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 552 с.
4. *Вольнский, Б. А.* Электротехника : учеб. для неэлектрич. специальностей вузов / Б. А. Вольнский, Е. Н. Зейн, В. Е. Шатерников. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 528 с.
5. *Копылов, И. П.* Электрические машины / И. П. Копылов. — М. : Высш. шк., 2000. — 607 с.
6. *Соколов, А. В.* Электрическое и электротехническое оборудование : учеб. пособие / А. В. Соколов. — М. : Академия, 2001. — 224 с.
7. *Алиев, И. И.* Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах / И. И. Алиев. — М. : РадиоСофт, 2004. — 128 с.

Учебное издание

**Дубень Игорь Викторович
Понгалев Олег Владимирович**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И АППАРАТЫ**

**Методические указания
для лабораторных занятий
для студентов инженерных специальностей**

В 2 частях

Часть 1

Корректор: *О. И. Юцук*
Компьютерная верстка *Ю. В. Хохол*

Редактор: *Е. Г. Хохол*

Подписано в печать 10.04.08.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,41. Уч.-изд. л. 4,04.

Заказ 35. Тираж экз.

ЛИ 02330/0133468 от 09.02.2005

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Барановичский государственный университет»
225404 г. Барановичи, ул. Войкова, 21

Репозиторий БарГУ

Репозиторий БарГУ