

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроснабжения

Селицкая О. Ю., Сакович Е. А.

РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию
в области сельского хозяйства в качестве лабораторного практикума
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности
1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (электроэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2012

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7
С29

Авторы:
старший преподаватель *О. Ю. Селицкая*;
ассистент *Е. А. Сакович*

Селицкая, О. Ю.

С29

Ремонт электрооборудования : лабораторный практикум /
О. Ю. Селицкая, Е. А. Сакович. – Минск : БГАТУ. 2012. – 272 с.
ISBN 978-985-519-546-8.

В практикум по курсу «Ремонт электрооборудования» включены разделы, рассматривающие вопросы, связанные с дефектацией электрооборудования как в процессе эксплуатации, так и при ремонте статорных обмоток, а также испытаниями электрооборудования. Предназначен для студентов вузов и специалистов, занимающихся ремонтом электрооборудования.

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7

ISBN 978-985-519-546-8

© БГАТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Раздел I. ДЕФЕКТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ	5
№ 1. Дефектация механической части электрических машин переменного тока	5
№ 2. Определение целостности обмотки статора асинхронного электродвигателя и места ее замыкания на корпус и фазу	24
№ 3. Определение витковых замыканий в обмотках электрических машин	34
№ 4. Дефектация электрической части машин постоянного тока ...	45
№ 5. Дефектация трансформатора	55
№ 6. Дефектация пуско-защитной аппаратуры	72
Раздел II. ИЗОЛИРОВОЧНО-ОБМОТОЧНЫЕ РАБОТЫ	93
№ 7. Схемы однослойных петлевых статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей	93
№ 8. Схемы концентрических статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей	106
№ 9. Схемы двухслойных статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей	113
№ 10. Статорные обмотки трехфазных асинхронных электродвигателей с дробным числом пазов на полюс и фазу	118
№ 11. Изолировочно-обмоточные работы при капитальном ремонте асинхронного двигателя	126
№ 12. Частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей	136
Раздел III. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ	152
№ 13. Соединение обмоток машин постоянного тока	152
№ 14. Экспериментальное определение номинальных данных асинхронного электродвигателя	167
№ 15. Испытание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором после капитального ремонта	183
№ 16. Испытание трансформатора после ремонта	203
Литература	215
Приложения	217

ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни и на производстве человек ежедневно сталкивается с различными видами электрооборудования. Жизненный цикл электрооборудования состоит из нескольких этапов: *разработка, изготовление, эксплуатация.*

В процессе эксплуатации электрооборудования происходит снижение его рабочих показателей в результате износа (механического, электрического и «морального»), который, в зависимости от объема, определяет возможность электрооборудования выполнять определенные технологические операции с параметрами, обусловленными номинальными данными.

На работоспособность электрооборудования влияет состояние, как электрической части, так и механической.

По окончании изучения данного курса студенты должны обладать соответствующими знаниями, навыками и умениями для самостоятельного решения практических задач, связанных с ремонтом электрических машин, аппаратов и пускозащитной аппаратуры.

В данном лабораторном практикуме представлены работы, соответствующие учебному плану курса «Ремонт электрооборудования» БГАТУ, которые также входят и в учебные планы колледжей по данной дисциплине. В лабораторном практикуме имеются методические рекомендации, примеры и справочные данные, необходимые для выполнения лабораторных работ и подготовки к экзамену по данному курсу. Авторы выражают благодарность кафедре электроснабжения БГАТУ за предоставленные материалы, разработанные профессором Сердешновым А.П., которые частично были использованы в данном учебном пособии.

Раздел 1

ДЕФЕКТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ

Лабораторная работа № 1

ДЕФЕКТАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучить порядок разборки электрических машин переменного тока и методы определения их неисправностей; ознакомиться с оборудованием, приборами, приспособлениями и инструментами, которые при этом используются, а также допустимыми нормами дефектов.

Студент должен знать: порядок разборки электрических машин в соответствии с конструкцией, виды используемых инструментов и приспособлений, допустимые нормы дефектов, методы мойки и очистки деталей;

уметь: производить разборку и дефектацию электрических машин, определять степень их ремонтпригодности.

Общие сведения

Дефектация электрической машины – это определение неисправностей (дефектов) ее узлов и деталей.

На состояние механической части влияют такие факторы, как условия эксплуатации электрооборудования, правильность его

установки и центровки, наличие постоянных или переменных внешних воздействий на отдельные детали и узлы.

Предварительное заключение о состоянии электрооборудования, поступившего в ремонт, можно сделать в результате его внешнего осмотра при проведении приемочных работ.

Электрическая машина, поступающая в ремонт, должна быть укомплектована всеми необходимыми узлами и деталями, очищена от грязи и пыли, шкив или полумуфта должны быть сняты. Проверяют состояние корпуса, крепящих деталей, фланцев, клеммных панелей, выводных концов, осматривают подшипниковые щиты. Замеряют величину воздушного зазора не менее чем в четырех точках с обеих сторон машины, а также осевое перемещение ротора, проверяют целостность обмоток, замеряют их омическое сопротивление и сопротивление изоляции.

Если неисправности, выявленные при внешнем осмотре, не препятствуют работе машины, ее запускают холостую. При этом измеряют ток холостого хода, контролируют вибрацию, нагрев отдельных частей, искрение на кольцах или коллекторе, обращают внимание на уровень шума.

Очень важно проверить температуру подшипников, которую достаточной для практики точно можно измерить термометром, ртутный конец которого следует обернуть фольгой и приложить к подшипниковому щиту. Температура подшипника может повыситься в результате его повреждения или отсутствия смазки.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно осмотреть электродвигатель, подлежащий разборке. Определить видимые повреждения электрической машины.
2. Подготовить дефектовочную ведомость по образцу, указанному в прил. 1.
3. Используя специальные инструменты и приспособления, разобрать электродвигатель, строго соблюдая последовательность разборочных операций.
4. Осмотреть каждую конструктивную деталь электродвигателя. Оценить характер дефектов.

5. Заполнить дефектовочную ведомость. Дать заключение о ремонтпригодности каждой детали.

6. Сделать заключение о ремонтпригодности электрической машины.

7. Собрать электрическую машину.

Внешний осмотр электрической машины

По результатам внешнего осмотра при приемочных работах определяются предварительный объем ремонтных операций. Результаты осмотра, замеров и наблюдений заносят в протокол, журнал и ведомость дефектов (ремонтную (дефектовочную) ведомость), которые являются основными документами для ремонта.

Электрическую машину нецелесообразно ремонтировать, если корпус разбит настолько, что не может быть восстановлен, значительно увеличен воздушный зазор, отбиты две или более лапы, сильно погнут вал.

Полное представление об объеме и характере ремонта электрической машины может быть получено только после ее разборки, осмотра и дефектации отдельных ее частей.

Разборка электрических машин

Под разборкой электрической машины понимается ее расчленение на отдельные составляющие, детали и узлы.

Практически всегда ремонт электрической машины связан с ее полной или частичной разборкой. Как правило, на выполнение этих работ затрачивается до 15–20 % от всего времени ремонта.

Разборку производят осторожно. Нельзя пользоваться молотком с зубилом, наносить резкие удары или прилагать очень большие усилия. Тутю отвинчивающиеся болты или гайки предварительно смачивают керосином и оставляют на несколько часов, чтобы они легче отвинчивались.

На основные узлы и детали навешивают бирки, на которых указывают принадлежность их к данной машине. Мелкие детали складываются в ящики.

Разборочный участок оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией, специальными стендами, подъемно-транспортными приспособлениями (краны, кран-балки, ручные тележки, авто- или электрокары и пр.)

Для качественного выполнения разборки и сокращения времени ее проведения используется слесарный инструмент: молотки, гаечные ключи, рычаги, прокладки, отвертки, а также специальные приспособления: съемники различных типов и назначений, приспособления для ввода и вывода ротора, подставки, приспособления для сборки и разборки без грузоподъемных механизмов и т. д.

Способ и последовательность разборки зависят от типа и конструкции машины, ее мощности и оборудования, которым располагает ремонтное предприятие.

Основное правило разборки: провести ее так, чтобы не повредить детали.

Порядок разборки асинхронного двигателя серии 4А мощностью до 10 кВт, закрытого обдуваемого исполнения с короткозамкнутым ротором (рис. 1.1):

1. Снимается кожух вентилятора. Для этого отвинчиваются винты крепления его к корпусу машины.

2. Снимается вентилятор. Перед этим предварительно удаляется пружинное кольцо из канавки вала. Для съема в стальной втулке вентилятора имеются резьбовые отверстия.

3. Снимаются крышки подшипников и подшипниковые щиты. Отвинчивают болты крепления фланцев подшипниковых, снимают фланцы, ослабляют крепления и сдвигают траверсы, выпускают масло из подшипников. Отвинчивают болты, крепящие подшипниковый щит к корпусу. Не снимая щит, на него и корпус наносят метки, по которым при сборке машины щит устанавливают в прежнее положение. Легкими ударами молотка через деревянную прокладку по выступающим частям щита отделяют его от корпуса.

Чтобы предохранить ротор и статор от повреждения при ремонте тяжелых машин, до отделения подшипниковых щитов от корпуса ротор подвешивают при помощи подъемного приспособления (тельфера, тала, кран-балки).

Отделив подшипниковый щит от корпуса, передвигают его вдоль машины. Чтобы не повредить железо и изоляцию обмоток при снятии щита, предварительно в воздушный зазор между ротором и статором кладут лист плотного картона, на который и ляжет ротор, когда щит будет снят.

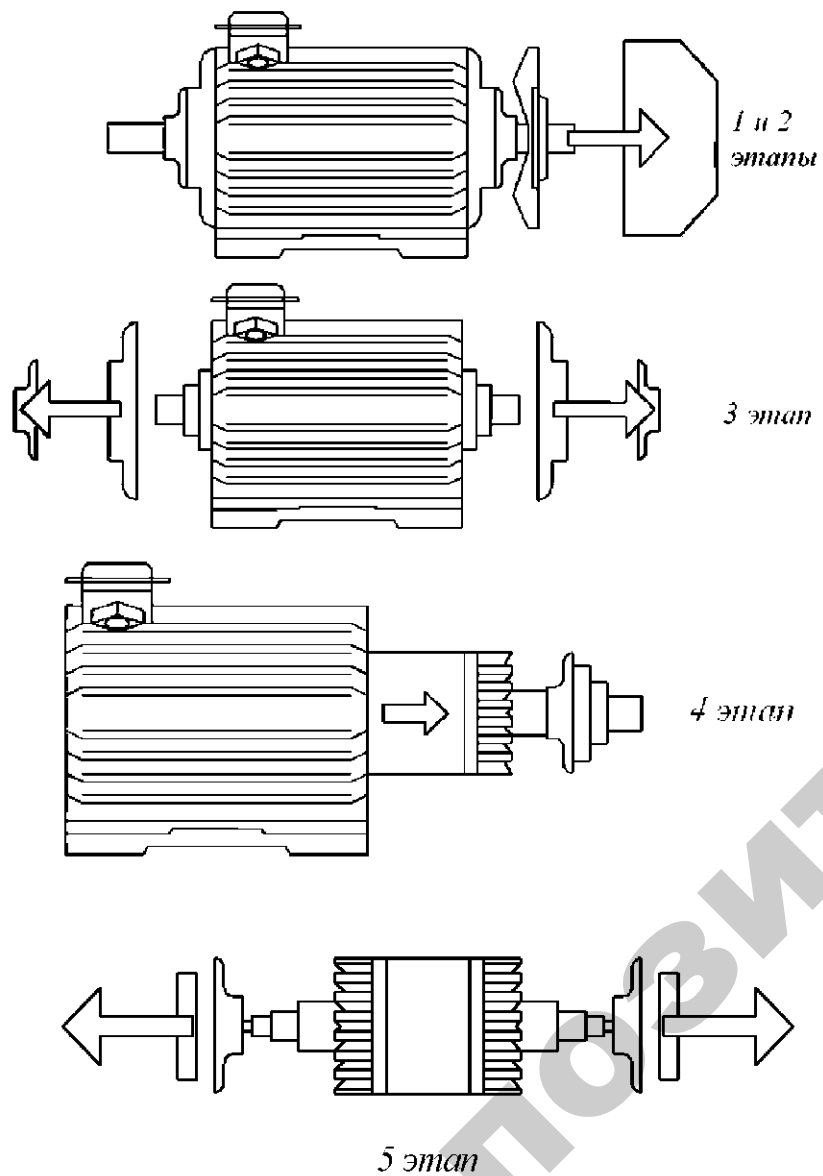


Рис. 1.1. Последовательность разборки асинхронного двигателя мощностью до 10 кВт

4. Извлекается ротор из статора. В небольших машинах после снятия обоих подшипниковых щитов ротор вынимают вручную. В крупных машинах ротор вынимают подъемными приспособлениями (рис. 1.2, 1.3). При выемке ротора следят за тем, чтобы он двигался строго по оси машины и не повредил лобовые части обмоток, крылья вентиляторов (на беличьей клетке), магнитопровод и другие детали.

Подшипниковые крышки остаются на щитах, а шарикоподшипники на валу ротора. Последние снимаются съемниками лишь в случаях их замены или ремонта ротора (рис. 1.4, 1.5, 1.6). В трудных случаях подшипники до съема нагревают, поливая их горячим трансформаторным маслом с температурой не более 100 °С.

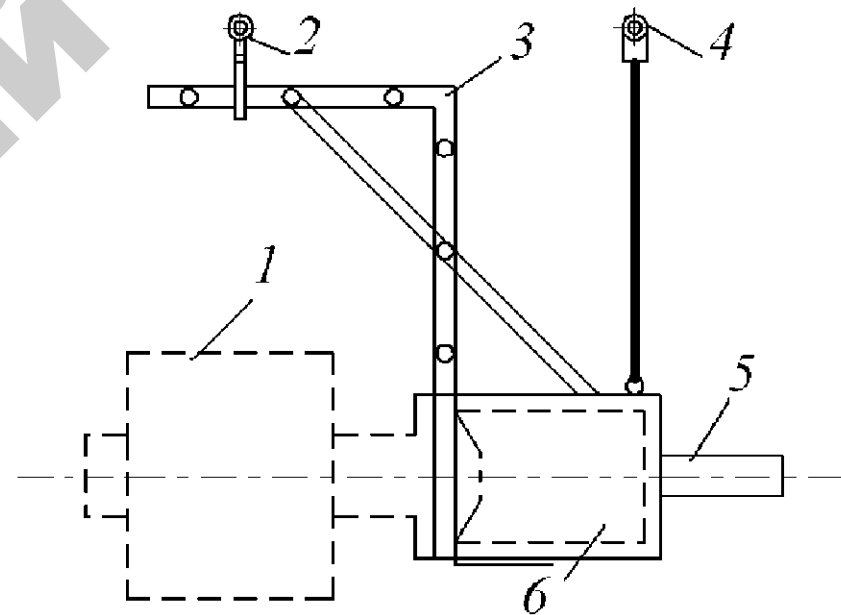


Рис. 1.2. Приспособление для ввода и вывода ротора:
1 – ротор; 2 – рым-болт; 3 – кронштейн; 4 – рым-болт; 5 – рукоятка; 6 – труба

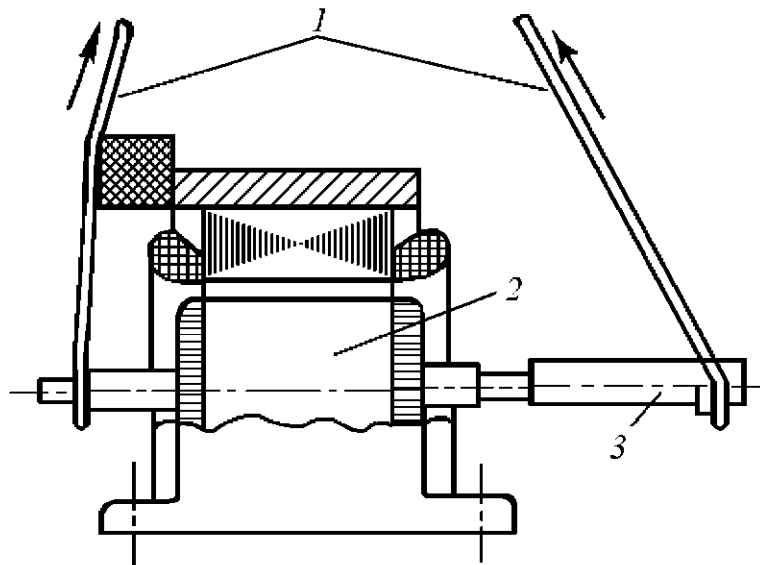


Рис. 1.3. Вывод ротора при помощи удлинителя:
1 – стропа; 2 – ротор; 3 – удлинительная трубка

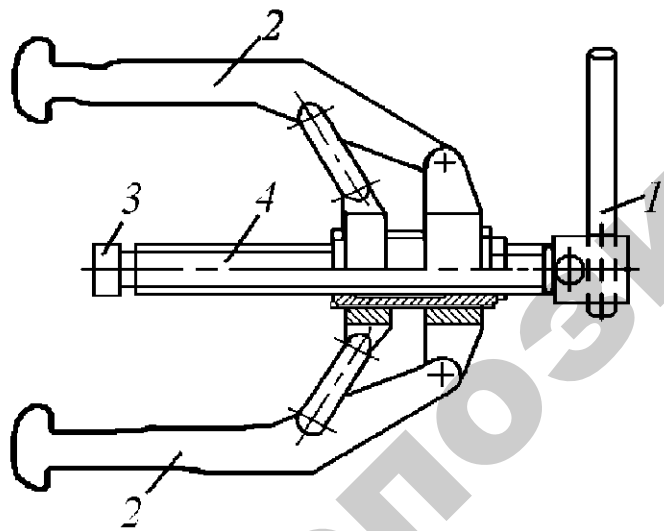


Рис. 1.4. Винтовой съемник:
1 – рукоятка; 2 – захваты; 3 – упор; 4 – винт

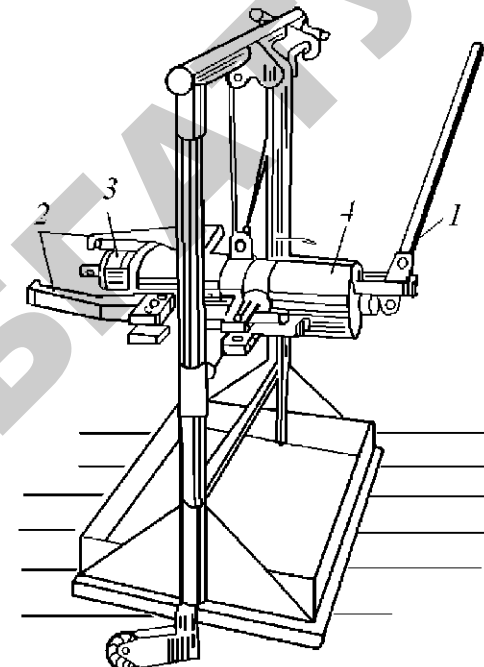


Рис. 1.5. Гидравлический передвижной съемник:
1 – рукоятка; 2 – плунжерный насос; 3 – упор; 4 – захваты

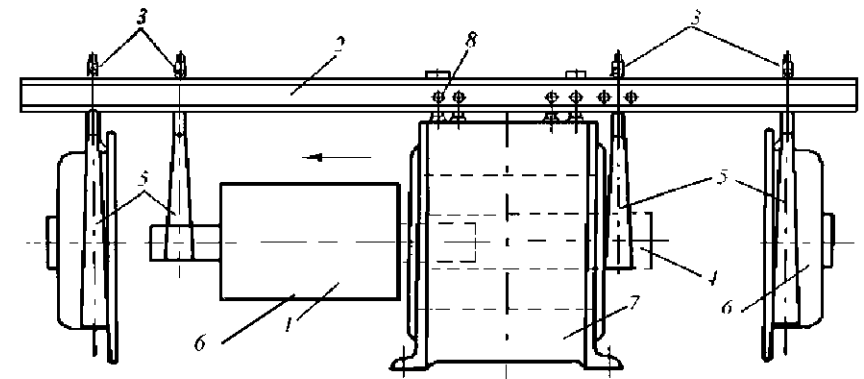


Рис. 1.6. Приспособление для разборки и сборки электрических машин без грузоподъемного механизма:
1 – ротор; 2 – приспособление для разборки из двух швеллеров; 3 – ролики для подвешивания грузов; 4 – удлинительная труба; 5 – ленты; 6 – подшипниковый щит; 7 – статор; 8 – крепления-приспособления к рым-болтам

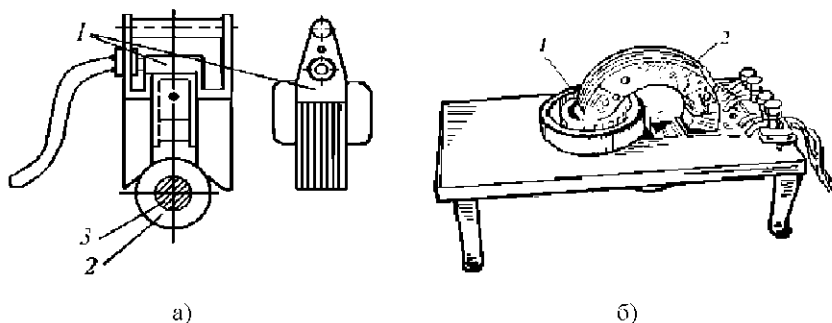


Рис. 1.7. Индуктор:

а) – для нагрева подшипников на валу: 1 – индуктор, 2 – вал подшипников, 3 – вал;
 б) – для разогрева подшипников: 1 – подшипник, 2 – индуктор

В настоящее время отдельные ремонтные предприятия оборудованы установками индукционного нагрева (рис. 1.7а, б). Магнитный поток проходит через насаженную деталь, разогревая ее вихревыми токами.

У асинхронных электродвигателей с фазным ротором при снятии заднего щита (расположен со стороны контактных колец) снимают вначале кожух контактных колец, затем вынимают щетки, отвинчивают крепящие болты и снимают корпус контактных колец. При этом отпаивают соединительные хомутики от выводных концов.

После снятия основных частей машины (щитов, подшипников, траверс, вкладышей масленок, уплотнений) их промывают бензином или керосином. Обмотки очищают от пыли сильной струей сжатого воздуха, после чего протирают чистой тряпкой, смоченной в бензине.

Исправные детали хранят в промежуточной кладовой цеха, поврежденные направляют в ремонт. При разборке машины строго соблюдают правила техники безопасности.

После снятия основных частей машины (щитов, подшипников, траверс, вкладышей масленок, уплотнений) их промывают бензином или керосином. Обмотки очищают от пыли сильной струей сжатого воздуха, после чего протирают чистой тряпкой, смоченной в бензине.

Исправные детали хранят в промежуточной кладовой цеха, поврежденные направляют в ремонт. При разборке машины строго соблюдают правила техники безопасности.

Очистка и мойка деталей

Очисткой называется удаление загрязнений с поверхности деталей каким-либо способом без применения моющих средств (например, сжатым воздухом, щеткой и т. п.).

Под мойкой понимают удаление загрязнений с поверхности деталей с помощью моющих средств. Это одна из ответственных операций, так как она дает возможность провести качественную дефектацию деталей, а также их качественное восстановление в процессе ремонта.

На практике используют следующие методы мойки.

1. Удаление загрязнений с помощью органических растворителей (керосин, машинное или трансформаторное масло и др.). Этими растворителями смачивают ветошь и протирают детали.

Достоинства: простота, экономичность, широкое использование в малых мастерских т.к. не требует специальных устройств.

Недостатки: ручной труд, целесообразен лишь при небольших загрязнениях, в определенной мере метод токсичен.

2. Мойка погружением в моечный раствор (рецепты приведены в справочниках, можно использовать для приготовления растворов и готовые смеси). Для мойки детали опускают в емкость с раствором, где они выдерживаются требуемое время (которое определяется экспериментально). Наилучшие результаты даст такая мойка при наличии вибрации раствора или при перемещении в нем деталей.

Достоинства: экономичность, простота, хорошее качество очистки, большая производительность в сравнении с первым методом.

Недостатки: необходимы моющие средства и специальное оборудование.

3. Выварка в моющем растворе. Детали помещают в емкость с моющим раствором, нагревают до требуемой температуры (80–100 °С), и выдерживают требуемое время (температура и время определяются экспериментально).

Достоинство: высокое качество очистки, детали очищаются практически от любых загрязнений.

Недостатки: требуется специальное оборудование, снижастся производительность по сравнению со вторым методом, экономичен лишь при сильных загрязнениях.

4. Очистка в струе моечного раствора. В камеры *б* (рис. 1.8*а, б*), с расположенными на тележках деталями электрических машин *з*, по трубам *7* под давлением от центробежных насосов *8* через сопла или разбрызгиватели *5* подается моечный раствор (например, кальцинированная сода и пр.). Разбрызгиватели устанавливают или стационарными (рис. 1.8*а*), или вращающимися (рис. 1.8*б*). Раствор при необходимости можно нагревать до температуры 80–90 °С.

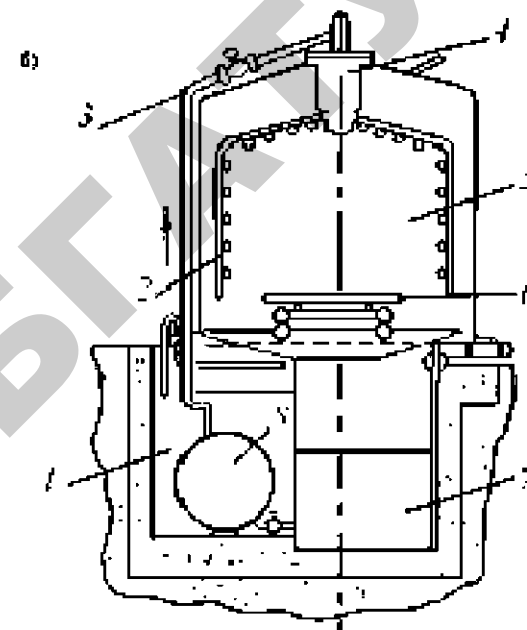
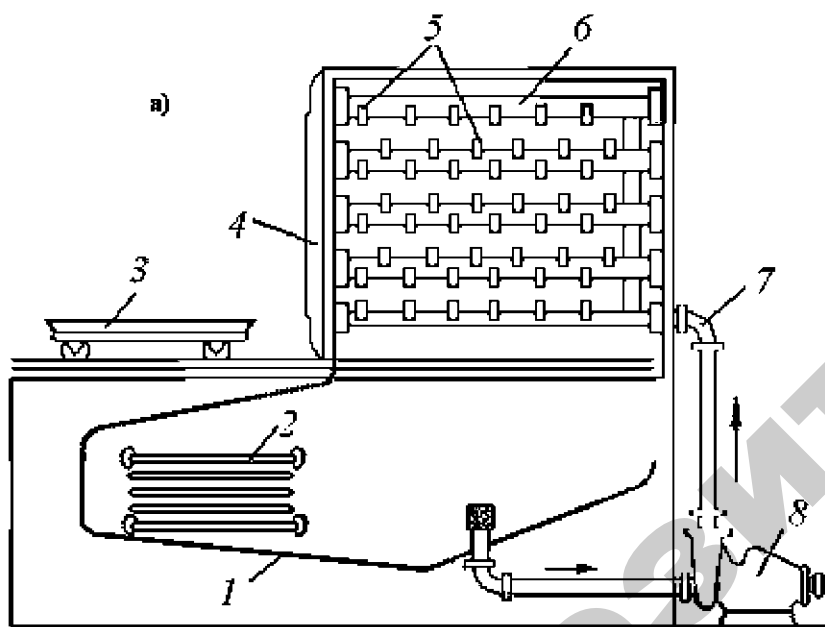


Рис. 1.8. Моечная машина:

а) с неподвижными соплами: 1 – резервуар, 2 – змеевик парового нагревателя, 3 – тележка для деталей электрических машин, 4 – дверь, 5 – сопла, 6 – камера мойки деталей, 7 – трубопровод, 8 – центробежный насос; *б*) с вращающимися разбрызгивателями: 1 – резервуар, 2 – разбрызгиватель, 3 – трубопровод, 4 – распределитель, 5 – моечная камера, 6 – тележка для деталей, 7 – приемный бак, 8 – центробежный насос

Достоинство: достаточно хорошее качество очистки, высокая производительность, на больших предприятиях – высокая экономичность.

Недостаток: потребность в наличии сложного специального оборудования.

После очистки (мойки) производится окончательная дефектация деталей, а также узлов электрических машин, так как выявление неисправностей, начинается с приема их в ремонт.

Дефектация деталей и узлов

При изучении данного вопроса студентам следует пользоваться наглядными пособиями, каждая рассматриваемая деталь, узел машины должны быть найдены на образцах стенда лабораторной работы и в плакатах. Следует четко провести их дефектацию, выявленные неисправности занести в дефектовочную ведомость (прил. 1).

Определение состояния и степени пригодности к дальнейшей эксплуатации отдельных узлов и деталей механической части электрических машин проводится следующими методами:

- внешний осмотр,
- измерения со сравнением полученных результатов с допустимыми величинами выработки, приведенными в инструкциях и справочниках.

При дефектации решается также вопрос по определению способов восстановления работоспособности деталей.

К общим неисправностям почти всех металлических деталей электрических машин следует отнести: *окисление поверхности, выработку, трещины, прогиб, вмятины, забоины, заусенцы*. Вместе с этим каждая деталь или узел может иметь свои характерные дефекты.

Корпус: отбитые ребра охлаждения, их число не должно существенно влиять на нагрев машины. При номинальной нагрузке резьба всех отверстий, где она имеется, должна быть целой, трещины как в продольном, так и в поперечном направлениях не должны превышать 50 % его длины и ширины корпуса по окружности. Неисправности определяются визуально. Корпус бракуют, если трещины имеют значительную величину и не могут быть устранены. Проверяют исправность лап.

Крышки (подшипниковые шипы): нарушение посадочных мест, трещины, заварка которых может вызвать деформацию и изменение этих мест. Неисправности определяются визуально и замером.

Вал: изменение диаметров шеек, прогиб вала допускаются до 0,1 мм на один метр длины, трещины допустимы в том случае, если по ширине они не превышают 10–15 % от диаметра вала, а продольные – не более 10 % от длины. Неисправности определяются визуально или замерами, например, прогиб – индикатором часового типа.

Подшипники качения: искривление обойм, язвины, шлушенис шариков, роликов и беговых дорожек, нарушение посадочных мест. Неисправности определяются визуально, покачиванием рукой верхней обоймы в осевом и радиальном направлении (обычно до съема подшипников с вала), ощущения смещения не должно быть. Замеры зазоров производятся щупом, который вводится между шариком и обоймой или индикатором часового типа 1, как показано на рис. 1.9.

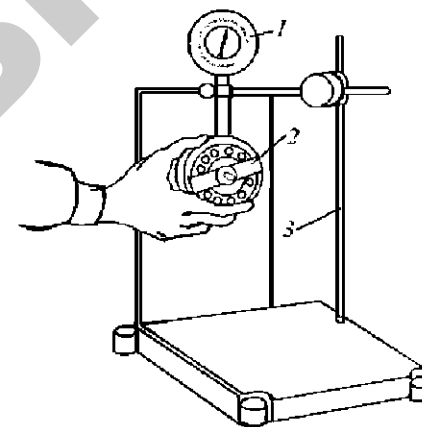


Рис. 1.9. Измерение радиального зазора подшипника: 1 – индикатор; 2 – подшипник; 3 – ступица

Допустимые зазоры в подшипниках приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Допустимые зазоры в подшипниках, мм

Диаметр вала	Радиальные зазоры новых подшипников		Наибольший допустимый зазор подшипников
	шариковых	роликовых	
20–30	0,005	0,01	0,10
30–50	0,01	0,02	0,15
55–80	0,015	0,03	0,20
85–120	0,02	0,04	0,30

В последнем случае внутренняя обойма закрепляется. Данные измерений сравниваются по таблицам с допустимыми. Если зазоры находятся в пределах норм, состояние подшипников удовлетворительное, они могут использоваться дальше.

Магнитопровод: расслоение листов активной стали по краям пакета, их оплавление или местное механическое повреждение (задиры и вмятины не должны превышать 5 % общей поверхности в расточке статора); ослабление прессовки пакетов стали и их крепления на своих местах; смещение линии пазов по их длине допустимо не более 20 %, иначе ремонт невозможен. Неисправности определяются визуально и простукиванием.

У асинхронной машины с фазным ротором после снятия поврежденной обмотки проверяется также эксцентриситет ротора в радиальном направлении. Он не должен превышать 5 % воздушного зазора. Неисправность наиболее удобно определяется индикатором часового типа.

Роторная обмотка короткозамкнутых асинхронных машин (беличьих клетки): нарушение соединения между стержнями и короткозамыкающими кольцами, разрывы и трещины на них, погнутые или сломанные вентиляционные лопасти (допустимо не более одной, двух).

Неисправность определяется в основном визуально. Разрывы стержней в пазовой части можно определить только с помощью специальных приборов, например, электромагнита со стальной пластинкой.

Контактные кольца обмоток: биение в радиальном направлении (эксцентриситет) допустимо 0,1 мм при частоте вращения ротора не более 1000 мин⁻¹ и 0,05 мм – более 1000 мин⁻¹, биение в осевом направлении не допускается свыше 3–5 % ширины контактного кольца. Поверхность должна быть зеркально чистой (без эрозии, царапин, шероховатостей, потемнений), не иметь заметной выработки. При износе колец более 50 % первоначальной толщины требуется их замена. Если толщина не известна, минимальную принимают равной 8–10 мм. Неисправности определяются визуально и измерениями.

Коллектор: подгары, шероховатости, потемнения, эрозия, выработка коллекторных пластин до превышения изоляции над ними,

ослабление прессовки коллектора. Допустимое биение коллектора в радиальном направлении не более 0,02 мм, в осевом – 2–3 мм. Неисправности определяются визуально и измерениями.

Бандажи: обрывы бандажной проволоки, нарушения целостности пайки. Неисправности определяются визуально.

Контактно-щеточный механизм (щеткодержатели): неправильная установка щеток на коллекторе (правильная – с перекрытием на нем дорожек от щеток), механические повреждения щеточных обоев, их оплавление, изолирование пальца и других элементов механизма, ослабление пружин, обрыв контактных тросиков и нарушения их креплений, срыв резьбы винта регулировки, повреждение щеток, площадь соприкосновения их с кольцами или коллектором должна быть не менее 80 %. Щетки должны соответствовать маркам, указанным в инструкциях. Неисправности определяются визуально, нажатие щеток – динамометром.

Вентилятор: нарушение крепления посадочных мест, механические повреждения вентилятора и его лопаток, последних не должно отсутствовать более 1–2. Неисправности определяются визуально и измерением.

Коробка выводов: разбит корпус, разрушен клеммный щиток, подгары. Неисправности определяются визуально.

Крепежные детали (болты, винты, гайки и т. д.): механические повреждения граней, разрушение головок, срыв резьбы и тому подобное, некомплектность. Неисправности определяются визуально.

При дефектации следует иметь в виду, что наиболее часто имеют повреждения следующие детали и узлы электрических машин: подшипники, вентиляторы, коробки выводов, щеточные механизмы.

Сборка электрических машин

Электрические машины собирают на чистой площадке, свободной от всяких посторонних, не относящихся к сборке предметов. Перед сборкой проверяют комплектность отремонтированных узлов и деталей.

Необходимо рассмотреть процесс сборки отдельных узлов и всей машины в целом.

Установка подшипников качения. Изготовленные вкладыши или втулки подшипников качения запрессовывают в подшипниковые щиты обычно винтовым или гидравлическим прессом. До запрессовки устанавливают в прорезь смазочное кольцо и следят, чтобы оно не мешало установке втулки или вкладыша на место. При запрессовке особое внимание обращают на правильное положение втулки в гнезде щита (отсутствие перекосов).

Сборка ротора. На вал насаживают контактные кольца (у электродвигателей с фазным ротором) и укрепляют их, закрепляют вентилятор. Если машина имеет шариковые подшипники, то их после тщательной промывки разогревают в масляной ванне до температуры 90–100 °С и запрессовывают на вал. Подшипники разогревают в ванне в подвешенном состоянии. Мелкие подшипники иногда опускают в ванну в металлической сетке. Подшипники не кладут на дно ванны и не разогревают пламенем паяльной лампы во избежание неравномерного нагрева или отпуска стали.

В настоящее время отдельные ремонтные предприятия оборудованы установками индукционного нагрева (см. рис. 1.7а, б). Магнитный поток проходит через насаженную деталь, разогревая ее вихревыми токами.

Насаживают на вал подшипник легкими ударами молотка. Трубу сбрут из малоуглеродистой стали или оконцованную медным ободком. Диаметр трубы должен соответствовать диаметру внутренней обоймы подшипника.

Установка ротора и щитов. Ротор устанавливают в статор очень осторожно, чтобы не повредить обмотки и сердечник. Приемы установки ротора те же, что и при выемке. Легкий ротор вводят в статор вручную, тяжелый – с помощью подъемных приспособлений. В зазор между статором и ротором укладывают картонную прокладку.

Установив ротор на место, устанавливают задний подшипниковый щит. При этом следят, чтобы смазочное кольцо при подшипниках качения было поднято и не мешало установке щита. При правильной установке щита риски, нанесенные на щит и корпус машины до ее разборки, совпадают, установленный щит слегка прихватывают болтами. Удаляют временную прокладку и надевают передний щит, который также прихватывают болтами. Болты затя-

гивают попеременно в диаметрально противоположных точках, закручивая болт каждый раз примерно на пол-оборота.

Сборка машины в целом. Не затягивая болты подшипниковых щитов до отказа, поворачивают ротор от руки. При правильной сборке ротор легко вращается. Поворачивание ротора только при приложении значительного усилия объясняется наличием засохшего масла в подшипниках, посторонних предметов между статором и ротором, перекосом деталей при сборке, посадкой подшипников качения на вал или в корпус с недопустимо большим натягом (хруст в подшипниках) и другими причинами.

Устраняют неполадки, окончательно затягивают болты щитов и устанавливают фланцы. Масляные камеры подшипников качения заливают маслом. Устанавливают все остальные детали машины. Проверяют щупом воздушный зазор между ротором и статором, а также осевое перемещение (разбег) ротора, которое не должно превышать 1–2 мм.

Величину воздушного зазора между ротором и статором измеряют с обеих сторон в четырех точках через 90° по окружности для машин малой и средней мощности и восьми точках для крупных машин. Среднеарифметические значения измеренных зазоров для асинхронных двигателей АО2, 4А и АИР не должны отличаться от номинальных более чем на 10%. Величина зазора, измеренная в каждой точке (неравномерность воздушного зазора), также не должна отличаться от среднего значения более чем на 10%. Окончательно затягивают все болты, винты и гайки и передают машину на испытательный стенд для проведения испытаний.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Порядок разборки и сборки асинхронного двигателя серии 4А мощностью до 10 кВт.
3. Методы очистки и мойки деталей.
4. Дефектовочная ведомость с полученными данными осмотра и выводом о целесообразности ремонта данного двигателя (пример дефектовочной ведомости приведен в прил. 1).

Контрольные вопросы:

1. Какие приспособления для разборки электрической машины Вы знаете, для чего они служат?
2. Что понимается под разборкой электрической машины, дефектацией, мойкой?
3. Перечислите основные операции разборки асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором мощностью до 10 кВт.
4. Что проверяется на каждой детали или в узле при дефектации асинхронного двигателя?
5. Какие методы мойки деталей Вы знаете? Дайте характеристику каждому методу.
6. Как разбираются узлы асинхронного двигателя, собранные с натягом?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И МЕСТА ЕЕ ЗАМЫКАНИЯ НА КОРПУС И ФАЗУ

Цель работы: изучить методы дефектации электрической части машины переменного тока, физические законы, на которых они основаны, а также ознакомиться с приборами и приспособлениями, которые при этом используются.

Студент должен знать: основные виды повреждений электрической части и причины их возникновения;

уметь: пользоваться приборами и приспособлениями для определения местонахождения поврежденных участков обмоток.

Общие сведения

Из опыта эксплуатации и ремонта электрических машин известно, что повреждения изоляции обмоток могут произойти из-за длительного перегрева двигателя, увлажнения и загрязнения обмоток, попадания на них металлической пыли, стружек, а также в результате естественного старения изоляции. Повреждения изоляции могут вызвать замыкания между фазами и витками отдельных катушек обмоток, а также замыкание обмоток на корпус двигателя. Увлажнение обмоток происходит в случае длительных перерывов в работе двигателя, при непосредственном попадании в него воды или пара в результате хранения двигателя в сыром неотопляемом помещении и т. д. Поэтому необходимо строго соблюдать сроки осмотров и планово-предупредительных ремонтов электродвигателей.

Порядок выполнения работы:

1. Определить степень старения изоляции обмотки асинхронного электродвигателя.
2. Определить целостность обмотки статора асинхронного электродвигателя.
3. Определить сопротивление изоляции обмоток электромашины каждой фазы и корпуса, между фазами. Данные измерений занести в табл. 2.1.
4. Определить место замыкания обмотки статора асинхронного двигателя на корпус и между фазами.

Таблица 2.1

Данные измерений сопротивления изоляции обмоток

Сопротивление изоляции обмоток в МОм	Статор						Ротор
	А-К	В-К	С-К	А-В	В-С	С-А	Обмотка-корпус

Определение степени старения изоляции обмоток

Под старением изоляции, включающей органические волокнистые диэлектрики, понимается постепенное понижение ее механической прочности. Электрические характеристики изоляции (электрическая прочность – $E_{пр}$, тангенс угла диэлектрических потерь – $\operatorname{tg}\phi$, удельные сопротивления: R_s (поверхностное) и R_v (объемное), диэлектрическая проницаемость ϵ от степени старения практически не зависят).

Степень старения изоляции определяется методом прощупывания и подразделяется на 4 класса:

- 1 класс – изоляция мягкая, эластичная, обеспечивающая длительную работу электрической машины (очень хорошая изоляция).
- 2 класс – изоляция на ощупь твердая, но при нажатии не дает видимых трещин (изоляция удовлетворительная).
- 3 класс – изоляция твердая, а при нажатии появляются трещины, она расслаивается, однако от металла отделяется только острым предметом (изоляция ограниченно годная (иснадежная)).
- 4 класс – при нажатии изоляция осыпается (к дальнейшей эксплуатации не пригодна).

Сроком работы изоляции называется период времени, за который механическая прочность, постепенно падая, достигает 15–20 % своего начального значения.

Определение целостности обмоток электрической машины

Целостность обмоток электрических машин, проводов и других участков электрической цепи определяется омметром, тестером, мостом постоянного тока, например, типа Р-333 или пробником (рис. 2.1).

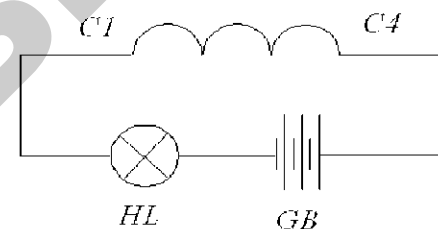


Рис. 2.1. Определение целостности обмотки электрической машины при помощи пробника

При этом в обмотках асинхронных двигателей одновременно определяются концы фаз. Определение концов фаз может быть выполнено и мегомметром, однако целостность электрической машины мегомметром определять нежелательно (высокое напряжение может пробить малый воздушный промежуток обрыва провода).

Для определения целостности электрической цепи прибор соединительными проводами подключается к исследуемому участку. При отсутствии обрыва у омметра стрелка показывает «0», у пробника загорается лампочка.

Определение сопротивления изоляции обмоток электрических машин

Если машина переменного тока имеет только три вывода на статоре или роторе (соединение обмоток 3-х фаз выполнена внутри машины), то измеряется сопротивление всей изоляции обмотки относительно корпуса. Если машина имеет 6 выведенных наружу концов и 3 из них соединены в «звезду» (или все 6 соединены в «треугольник»), то следует разъединить их и измерить сопротив-

ленис изоляции каждой фазы обмотки относительно друг друга и корпуса.

Определение сопротивления изоляции электрических машин и аппаратов производится мегомметром. Для этих целей, как правило, используются мегомметры типа М4100 и М4100/1-5 с генераторами переменного тока, приводимыми во вращение вручную, и выпрямителями.

Мегомметр – магнитоэлектрический прибор, имеющий две скрепленные вместе и сидящие на одной оси перекрещивающиеся катушки 1 и 2 (рис. 2.2), которые находятся в магнитном поле постоянного подковообразного магнита. Генератор при частоте вращения порядка 90–150 мин⁻¹ генерирует напряжение 500, 1000 и 2500 В.

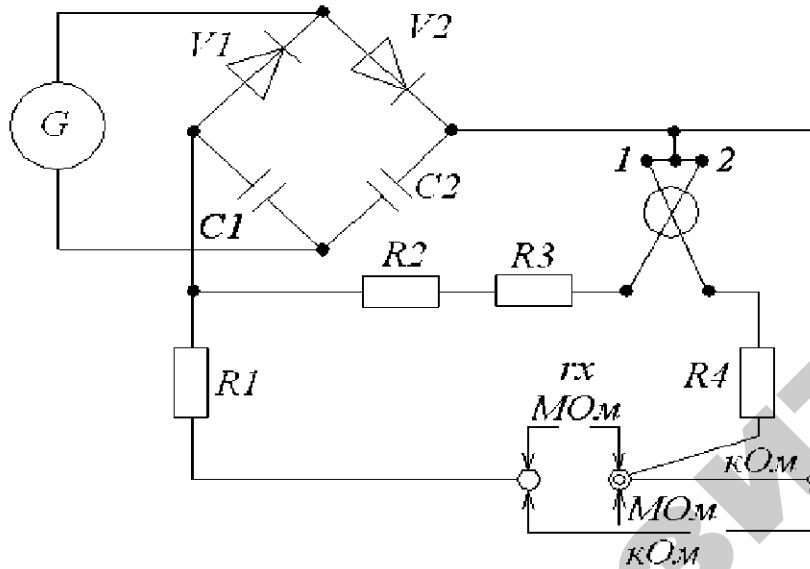


Рис. 2.2. Электрическая принципиальная схема мегомметра типа М4100 с генератором переменного тока, приводимым во вращение вручную

Измерение сопротивления изоляции производится в следующей последовательности. После того как мегомметр дал полное напряжение при равномерном вращении рукоятки со скоростью не менее 120 об/мин, проводники от зажимов «линия» и «земля» соединяют

между собой (проверка прибора, стрелка должна показать «0», затем они накладываются на выводы измеряемых обмоток или на вывод обмотки и корпус).

Замер сопротивления производится в течение 1 мин, при этом фиксируют сопротивление через 15 с (R_{15}) и сопротивление через 60 с (R_{60}). В момент фиксации измерений вращение ручки останавливать нельзя. После прекращения замера проводится контрольная проверка прибора.

Сопротивление, замеренное через 60 с, заносится в протокол как сопротивление изоляции обмотки.

Длительность замера сопротивления изоляции электрических машин и аппаратов объясняется тем, что при приложении к ней постоянного напряжения от индуктора мегомметра в изоляции (диэлектрике) проходит процесс поляризации. Последний вызывает протекание во внешней цепи дополнительного поляризационного тока, который практически затухает через 1 мин, значит, сопротивление в цепи (по закону Ома) увеличивается.

Отношение сопротивлений изоляции R_{60} к R_{15} называется коэффициентом абсорбции ($K_{абс}$).

$$K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (2.1)$$

По этому коэффициенту можно судить о состоянии изоляции, насколько она чиста и увлажнена.

На рис. 2.3 приведена зависимость протекания постоянного тока I в электрической цепи с диэлектриком от времени t приложенного напряжения.

Так как увлажненная, загрязненная изоляция содержит значительно больше свободных зарядов, ее ток сквозной проводимости ($I'_{ск. пр}$) значительно больше (кривая 2), чем у сухой, чистой (кривая 1). Отсюда отношение тока через 15 с к току через 60 с (I_{15} / I_{60}) или сопротивлений (R_{60} / R_{15}) в первом случае будет больше, чем во втором.

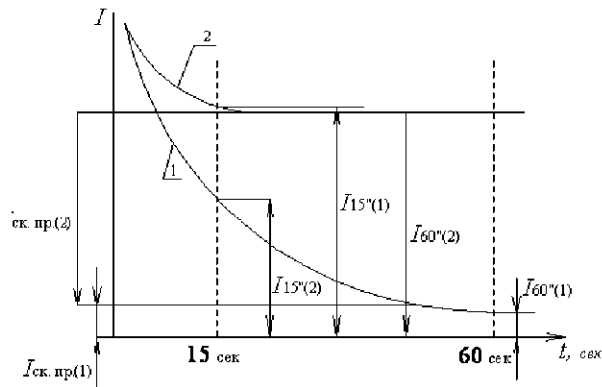


Рис. 2.3. Зависимость протекания постоянного тока I в электрической цепи с диэлектриком от времени t приложения напряжения: кривая 1 – для сухой, чистой изоляции; кривая 2 – для увлажненной, загрязненной изоляции

При сухой, чистой изоляции коэффициент абсорбции близок к 2, при увлажненной, загрязненной – к 1. Минимально допустимые значения $K_{абс}$ для масляных трансформаторов 1,3, для электрических машин и сухих трансформаторов – 1,1.

Необходимо иметь в виду, что коэффициент абсорбции зависит от температуры, поэтому принято производить его измерение при температуре 20–30 °С.

Стандартом величина сопротивления изоляции для электрических машин переменного тока не нормируется. В соответствии с ПУЭ для электрических двигателей с номинальным напряжением до 1 кВ принято считать достаточным сопротивлением изоляции обмоток: для статора – не менее 0,5 МОм при температуре 10–30 °С, для ротора – 0,2 МОм при той же температуре. Напряжение мегомметров должно быть 1 кВ для обмоток статора и 0,5 кВ – для ротора.

Сопротивление изоляции электрической машины ($R_{ин}$) в МОм при температуре, близкой к рабочей (75 °С), допустимо определять по выражению*:

$$R_{ин} = \frac{U_{н}}{1000 + 0,01S_{н}} \quad (2.2)$$

где $U_{н}$ – номинальное напряжение электрической машины, В;
 $S_{н}$ – номинальная полная мощность машины, кВ·А, (допустима в кВт).

*В электрической машине в холодном состоянии сопротивление изоляции обмоток приблизительно в 3 раза больше, чем в горячем.

Определение места замыкания обмоток электрических машин на корпус и между фазами

Если при измерении сопротивления изоляции обмоток обнаружено замыкание их на корпус или между собой, то для определения местонахождения поврежденного участка собирается схема, показанная на рис. 2.4.

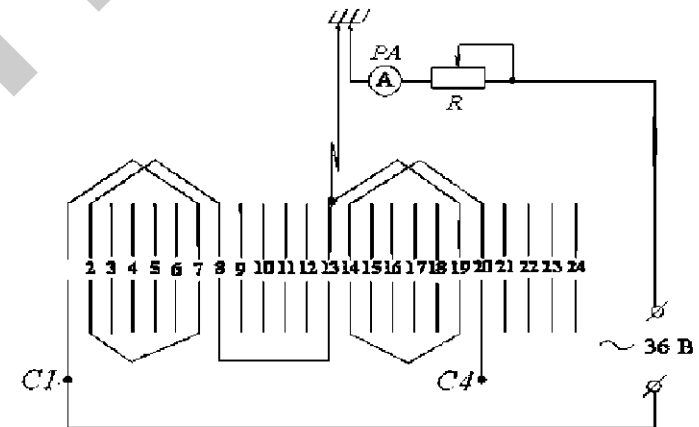


Рис. 2.4. Схема электрическая принципиальная для определения места замыкания статорной обмотки асинхронного электродвигателя на корпус: PA – амперметр переменного тока; R – реостат; C1–C4 – выводы фазной обмотки

От источника пониженного напряжения (в лаборатории – 36 В) один потенциал подключается к одному из выводов (например, к C1) обмотки, имеющей замыкание, а другой, через реостат и амперметр, подключается к корпусу электрической машины.

При подключении к электрической сети по созданному контуру потечет ток, величину которого можно регулировать при помощи ограничивающего сопротивления R. Ток не должен превышать номинального значения для данной машины. Так как ток носит переменный характер, то вокруг проводников с током образуется пере-

менное электромагнитное поле. Поэтому пазы с проводниками, по которым течет ток, легко определяются при помощи стальной пластинки (пластинка будет дребезжать). Это даст возможность выявить пазы с секциями, по которым протекает ток от одного из выводов фазной обмотки до места замыкания на корпус.

Для уточнения найденного места замыкания обмотки потенциал отсоединяют от проверенного вывода обмотки и присоединяют к другому (С4). При однократном замыкании обмотки найденные места замыканий в первом и во втором случае должны сойтись.

Для определения места замыкания двух обмоток между собой используется вышеизложенная методика. Но при этом напряжение подается сначала к одним выводам обмоток замыкающихся фаз, а затем – к другим. Указанная методика даст возможность выявить место замыкания секций этих обмоток.

Для определения места замыкания обмотки с корпусом электрической машины или соединения обмоток разных фаз между собой может быть использован электронно-ламповый прибор ЕЛП.

В последнем случае при нахождении места замыкания обмотки на корпус следует искусственно соединить конец поврежденной обмотки с корпусом машины (рис. 2.5), затем перестановкой по пазам приспособления прибора с двумя П-образными электромагнитами определить входящие в контур секции, замкнутые через корпус. При помещении приспособлений над пазом, в котором лежит сторона секции, входящей в искусственно созданный контур, на экране ЕЛП появляются две кривые с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу. Это объясняется тем, что посылаемые через катушку неподвижного П-образного электромагнита импульсы наводят в проводниках, расположенных в пазу под ним, ЭДС. В свою очередь, это ЭДС в замкнутом контуре вызывает электрический ток, который создаст вокруг проводников переменное электромагнитное поле, воспринимаемое катушкой подвижного П-образного электромагнита. Сигнал от нее через зажимы «сигн. явл.» подается на вертикально отклоняющие пластины кинескопа прибора ЕЛП, вызывая значительное отклонение луча, то есть увеличение амплитуды. При помещении приспособления над пазом, в котором лежит сторона секции, не входящая в контур, на экране кинескопа прибора ЕЛП будет прямая линия или кривые с малыми амплитудами (вследствие наличия малой индуктивной связи).

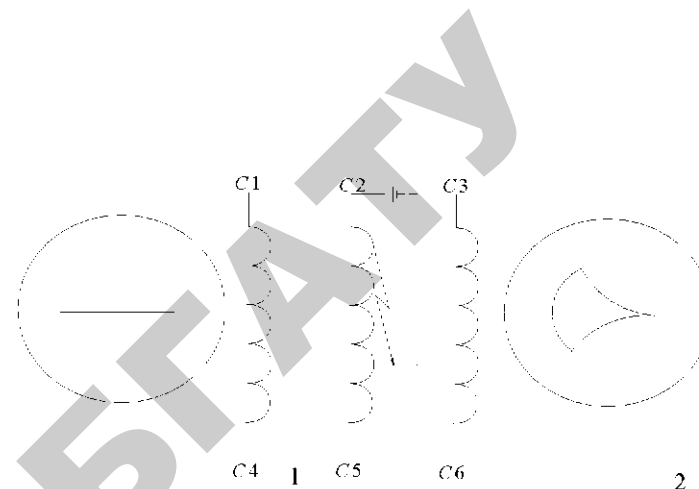


Рис. 2.5. Определение места замыкания обмотки с корпусом:
1 – форма линии на экране ЕЛП, когда по проводникам проверяемой секции не протекает ток; 2 – форма линии на экране ЕЛП, когда по проводникам проверяемой секции протекает ток

Для проверки найденного места замыкания обмотки фазы на корпус к нему присоединяют другой конец этой же обмотки, отсоединив первую. Последующие операции производятся вышеописанным методом.

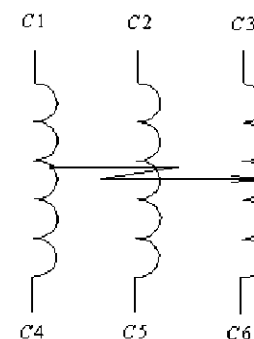


Рис. 2.6. Определение междуфазного замыкания обмоток

Для определения места замыкания обмоток разных фаз между собой проводится поочередное соединение концов поврежденных обмоток (рис. 2.6).

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Вывод о состоянии изоляции электродвигателя по степени старения.
3. Данные измерений сопротивлений изоляции обмоток электродвигателя каждой фазы и корпуса, между фазами.
4. Экспериментальная схема определения места замыкания фазной обмотки с корпусом.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как определить степень старения изоляции электрической машины? Дайте определение каждому классу степени старения изоляции.
2. Как определяется сопротивление изоляции электрических машин?
3. Что называется коэффициентом абсорбции, как он определяется и для каких целей?
4. Какими методами можно определить целостность обмоток электрических машин?
5. Каковы нормы на сопротивление изоляции обмоток машин переменного тока?
6. Как определяется место замыкания обмотки асинхронных машин на корпус?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Цель работы: изучить методы определения витковых замыканий в обмотках электрических машин переменного тока, физические законы, на которых они основаны, а также ознакомиться с приборами и приспособлениями, которые при этом используются.

Студент должен знать: основные виды повреждений электрической части и причины их возникновения;

уметь: пользоваться приборами и приспособлениями для определения местонахождения поврежденных участков обмоток, проводить маркировку выводов обмоток в соответствии с ГОСТ.

Общие сведения

Замыкания обмоток электрических машин являются наиболее распространенными из существующих видов повреждений. Опыт ремонта электрических машин показывает, что в их обмотках на долю витковых замыканий приходится до 80–85 % всех повреждений в электрической части. Различают следующие виды замыканий: между витками одной катушки, между катушками или катушечными группами одной фазы, между катушками разных фаз.

Главным характерным признаком, по которому можно найти замыкание в обмотках электродвигателя переменного тока, является нагрев короткозамкнутого контура. Для этого необходимо ощупать обмотку электродвигателя после ее отключения. В некоторых случаях короткозамкнутую часть обмотки электродвигателя можно сразу определить по внешнему виду – по обуглившейся изоляции. Нередко условия работы требуют срочного пуска асин-

хронного двигателя даже в аварийном состоянии, для чего проводится частичный ремонт обмотки. Однако последнее требует определения места положения секции с короткозамкнутыми витками.

Порядок выполнения работы:

1. Определить секции с короткозамкнутыми витками в обмотках электрических машин и место их расположения в пазах магнитопроводов.
2. Провести маркировку выводных концов обмотки трехфазного асинхронного двигателя.

Определение наличия и места нахождения витковых замыканий в обмотках статора

Наличие замыканий между витками в секции можно обнаружить, применяя для этого весьма простой прибор – подковообразный электромагнит, состоящий из магнитопровода 1 соответствующей формы и катушки 2 (рис. 3.1).

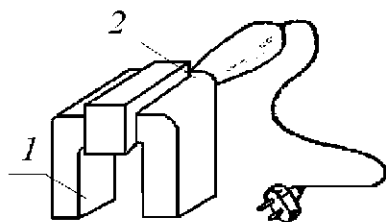


Рис. 3.1. Подковообразный электромагнит:
1 – магнитопровод, 2 – обмотка

Для нахождения короткозамкнутых витков в секциях обмоток электромагнит устанавливается параллельно пазам статора или ротора (при этом параллельные цепи обмотки должны быть разделены).

После включения электромагнита в электрическую сеть переменного тока (в лаборатории – напряжением 12 В при частоте 50 Гц) по его обмотке потечет ток, который создаст магнитный поток Φ , замыкающийся через сердечник электромагнита и часть магнитопровода электрической машины (рис. 3.2). Этот переменный магнитный поток будет

индуктировать в проводниках, охватываемых контуром потока Φ , ЭДС, так как в этом случае мы имеем дело с трансформатором, первичной обмоткой которого является катушка электромагнита, а вторичной – витки секции обмотки машины.

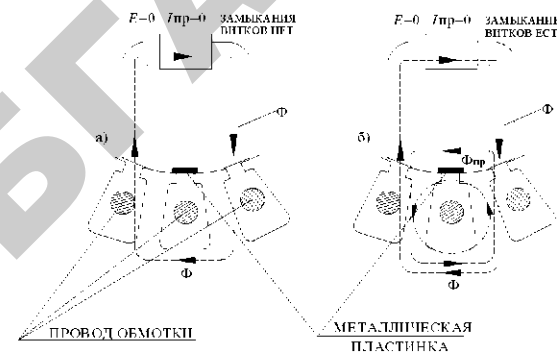


Рис. 3.2. Определение витковых замыканий при помощи подковообразного электромагнита

При отсутствии витковых замыканий в обмотке ЭДС не вызовет появления тока, так как для него нет замкнутой цепи (рис. 3.2а), при наличии короткозамкнутых витков ЭДС вызовет в них появление тока (рис. 3.2б), причем значительной величины, вследствие малого сопротивления в короткозамкнутом контуре. Этот ток создаст свой магнитный поток $\Phi_{пр}$ вокруг активных проводников короткозамкнутых витков. Последний легко обнаруживается металлической пластинкой из ферромагнитного материала.

Для определения витковых замыканий на производстве широко используют также прибор типа ЕЛ1 с приспособлением 2 (рис. 3.3).

Прибор работает по следующему принципу: приспособление имеет два П-образных электромагнита: один – неподвижный (11), другой – подвижный (12). Посылаемые через катушку неподвижного (возбуждающего) электромагнита 11 импульсы Φ наводят в проводниках, расположенных под ним, ЭДС. Магнитное поле $\Phi_{пр}$ от тока в короткозамкнутых витках воспринимается катушкой П-образного магнитопровода подвижного электромагнита (датчика 12), и этот сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины кинескопа прибора ЕЛ1, вызывая отклонение луча. Выключатель «Сеть» 4 на передней панели прибора предназначен для включения аппарата в сеть 220 В; выключатель «Анод» 3 служит для включения анодных напряжений трубки

и ламп; выключатель «Масштаб развертки» 5 – для изменения скорости развертки луча. Ручка «Амплитуда импульса» 6 предназначена для установки амплитуды магнитного импульса, подаваемого на испытываемые обмотки; ручка «Фокус» 7 – для фокусирования луча на экране трубки; средняя ручка – для устранения естественной несимметрии испытываемых обмоток и для переключения на работу с приспособлением.

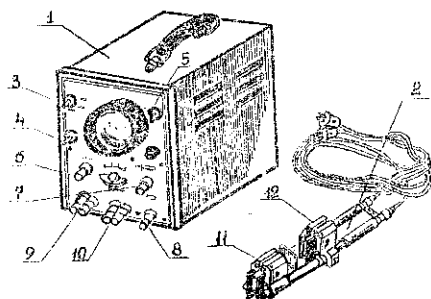


Рис. 3.3. Прибор ЕЛ1:

1 – электронно-ламповый прибор; 2 – приспособление с двумя электромагнитами; 3 – выключатель «Анод»; 4 – выключатель «Сеть»; 5 – выключатель «Масштаб развертки»; 6 – ручка «Амплитуда импульса»; 7 – ручка «Фокус»; 8 – зажим для присоединения заземляющего провода; 9 – зажим «Выходной импульс»; 10 – зажим «Сигнал явления»; 11 – стационарно закрепленный электромагнит; 12 – передвигаемый электромагнит (датчик)

В нижней части панели расположены 5 зажимов. Крайний правый зажим 8 служит для присоединения заземляющего провода, зажимы «Выходной импульс» 9 – для присоединения катушки (100 витков) возбуждающего, неподвижного электромагнита приспособления; зажимы «Сигнал явления» 10 – для подключения катушки (2000 витков) подвижного электромагнита (датчика) приспособления.

Для определения прибором ЕЛ1 замыканий в витках обмоток электрических машин к нему штепсельными вилками подсоединяется приспособление; вилка с пометкой «ВИ» – к контактам «Выходной импульс», а с пометкой «СЯ» – к «Сигнал явления». Средняя ручка должна быть поставлена в крайнее левое положение «Работа с приспособлением».

После подключения аппарата к сети через розетку включить выключатель «Сеть» и выдержать не менее одной минуты, пока

прогреются лампы, после чего можно включать анодные напряжения (выключатель «Анод»).

Поворотом ручки «Фокус» вправо или влево сфокусировать луч так, чтобы на экране он был четким.

Переставляя приспособление с П-образными электромагнитами с паз на паз по расточке статора или по поверхности ротора с обмоткой, на экране электроннолучевой трубки (рис. 3.4) можем наблюдать следующее:

– при отсутствии в пазу короткозамкнутых витков на экране прибора будет прямая линия или кривая с малыми амплитудами (вследствие наличия слабой индуктивной связи П-образных электромагнитов) (рис. 3.4а).

– при наличии в пазу короткозамкнутых витков на экране прибора появятся две кривые с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу (рис. 3.4б).

По этим кривым находят пазы с короткозамкнутыми витками.

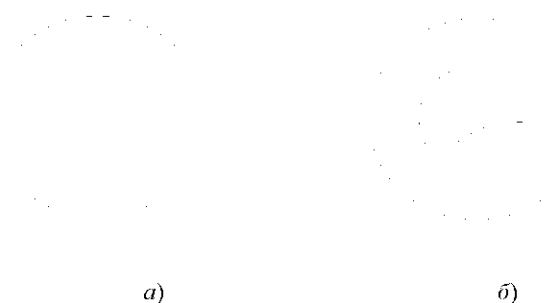


Рис. 3.4. Определение короткозамкнутых витков в обмотке при помощи прибора ЕЛ1: а) – нет замыкания витков; б) – замыкание витков есть

Подобным же образом находят закороченные витки в секциях обмотки машин постоянного тока. При работе с прибором ЕЛ1 необходимо иметь ввиду следующее:

1. Нельзя допускать закорачивание между собой проводов, идущих от зажимов «Вых. имп.» к испытываемым обмоткам, так как оно может привести к порче ламп.
2. Нельзя прикасаться к оголенным концам этих проводов.
3. При небольших перерывах в работе рекомендуется выключать анодное напряжение (выключатель «Анод»).

Для определения витковых замыканий можно использовать прибор типа ПДО-1, который, как и ЕЛ1, имеет два П-образных электромагнита и работает по тому же принципу с одним различием, что сигнал от появления потока вокруг проводников с током от датчика подается не на электроннолучевую трубку, а зажигает неоновую лампу.

При отсутствии более точных приборов в эксплуатации для определения места расположения секций с короткозамкнутыми витками широко пользуются методом ферромагнитного шарика. Для этого после разборки электромашин и подключения статорной обмотки к источнику трехфазного пониженного напряжения (например, к трехфазному сварочному трансформатору) в расточку статора помещают шарик, который увлекается вращающимся магнитным полем. Над пазами, в которых лежат секции с короткозамкнутыми витками, шарик «залипает», его останавливает стоячее поле $\Phi_{\text{пр}}$ этих витков.

Маркировка выводных концов обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей (АД)

Статорные обмотки трехфазных АД чаще всего имеют 6 выводов, соответствующих началам и концам фазных обмоток. По стандарту обозначения должны быть следующими (табл. 3.1):

Таблица 3.1

Маркировка обмоток статора асинхронного электродвигателя по стандарту

Фаза	Начало обмотки		Конец обмотки	
	Двигатели старых модификаций	Вновь разрабатываемые двигатели	Двигатели старых модификаций	Вновь разрабатываемые двигатели
А	С1	U1	С4	U2
В	С2	V1	С5	V2
С	С3	W1	С6	W2

В зависимости от напряжения, на которое рассчитывается двигатель, фазные обмотки соединяют по двум основным схемам, получившим название «звезда» и «треугольник».

Электродвигатели, прошедшие капитальный ремонт (или по другим причинам), часто не имеют бирок с обозначением «начал» и «концов» обмоток, которые необходимо восстанавливать опытным путем.

Эту работу выполняют в два этапа. На первом этапе с помощью мегомметра, тестера или контрольной лампочки определяют выводы первой, второй и третьей фаз статорной обмотки, а на втором этапе определяют начала и концы. Эта часть работы может быть выполнена *способом трансформации* (метод переменного тока), методом *постоянного тока*, методом «открытого треугольника» или методом *подбора* (для двигателей небольшой мощности до 2 кВт).

Маркировка способом трансформации (метод переменного тока). Сущность данного метода заключается в том, что две любые обмотки соединяют последовательно и подключают к сети на пониженное напряжение. К выводам третьей обмотки подключают вольтметр (PV) или контрольную лампу. Если соединены одноименные выводы, то есть конец 1-й и конец 2-й обмоток (рис. 3.5а), то результирующий поток $\Phi_{\text{рез}}$ не пересекнет витки 3-й, и ЭДС в ней не индуцируется. Если же соединены разноименные выводы обмотки, то есть к концу 1-й обмотки С4 подключено начало 2-й обмотки С2, то результирующий поток $\Phi_{\text{рез}}$ направлен по оси 3-й обмотки и пересекает ее витки. В этой обмотке индуцируется ЭДС (рис. 3.5б). При этом вольтметр покажет наличие напряжения в 3-й обмотке (до 50 % от подаваемого), или лампочка загорается.

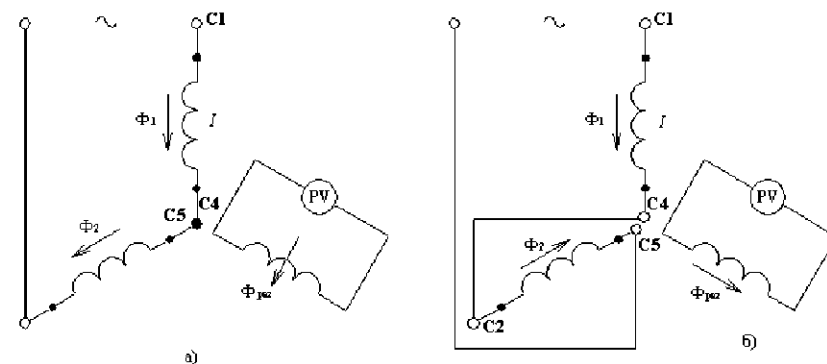


Рис. 3.5. Маркировка выводных концов статорной обмотки методом трансформации: а) – направление результирующего магнитного потока при последовательном соединении обмоток одноименными выводами; б) – направление результирующего магнитного потока при последовательном соединении обмоток разноименными выводами

Далее работа проводится в следующей последовательности: обмотка фазы, ранее подключенная к вольтметру или к контрольной лампе, меняется местами с обмоткой одной из фаз, подключенных к сети, и аналогично определяются ее начало и конец.

Найденные начала фаз обмоток, как указывалось выше, обозначаются $C1(U1)$, $C2(V1)$, $C3(W1)$; концы соответственно – $C4(U2)$, $C5(V2)$, $C6(W2)$.

Маркировка выводных концов статорной обмотки методом постоянного тока. По этому методу используются источники постоянного тока I (аккумулятор, сухой элемент и т. п.) и вольтметр магнитоэлектрической системы 2 (рис. 3.6).

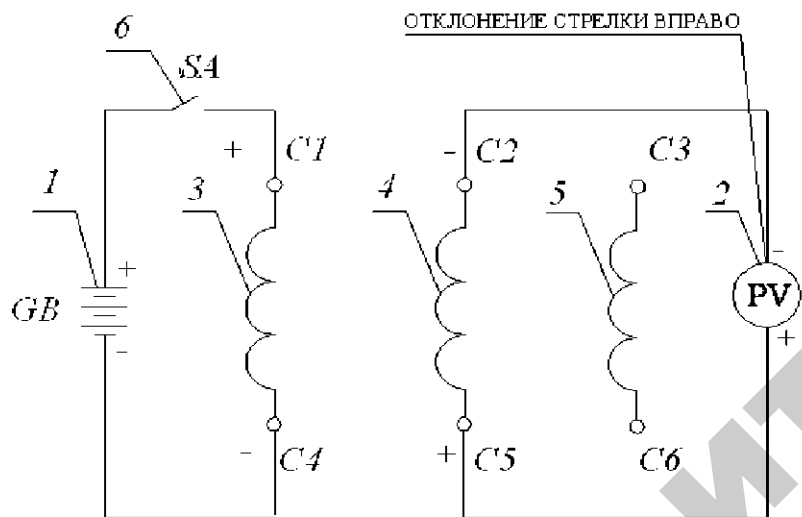


Рис. 3.6. Маркировка выводных концов статорной обмотки методом постоянного тока: I – источник постоянного тока; 2 – вольтметр постоянного тока магнитоэлектрической системы; $3, 4, 5$ – фазные обмотки; 6 – коммутационный аппарат

Источник питания I (GB) коммутационным аппаратом 6 (SA) включают импульсом на обмотку одной из фаз 3 , как показано на рис. 3.6, принимая конец, к которому подведен положительный потенциал, за $C1$.

К другим фазам 4 и 5 поочередно присоединяется вольтметр 2 (PV). Путем пересоединения выводов подбирается такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от источника постоянного тока к обмотке стрелка прибора даст отклонение вправо.

В этом положении (в соответствии с законом электромагнитной индукции) против «положительного» полюса на обмотке 3 на исследуемой обмотке будет «минус», что фиксируется вольтметром, то есть это начало фазных обмоток 4 и 5 – $C2$ и $C3$.

Маркировка выводных концов статорной обмотки методом «открытого треугольника». Метод «открытого треугольника» заключается в следующем. Все три обмотки соединяют последовательно в «открытый треугольник» и подают напряжение от сети. Если обмотки соединены согласно, то есть «концы» 1-й обмотки с «началом» 2-й и «концы» 2-й – с «началом» 3-й, то напряжение на всех трех обмотках имеет одинаковое значение. Если одна обмотка включена встречно, то в ней напряжение больше, чем в двух других, так как в ней наводится ЭДС, обусловленная взаимной индукцией.

Маркировка выводных концов статорной обмотки методом подбора. Метод подбора заключается в следующем. После определения принадлежности выводов к соответствующим фазам берут по одному выводу от каждой фазы и подключают к сети, а три других вывода соединяют в общую точку.

Если двигатель работает нормально (без вибраций и шума), то это значит, что в общую точку «0» попали все «концы» или «начала». Если двигатель сильно гудит и не развивает скорость – это означает, что одна из фаз оказалась «перевернутой». Рекомендуется поменять местами выводы 2-й обмотки и подключить двигатель к сети. Если при этом двигатель опять гудит и не развивает скорость, то считается, что «перевернута» 3-я обмотка. У 2-й обмотки выводы возвращают в исходное положение, у 3-й обмотки меняют местами выводы и подключают двигатель к сети. Если при этом двигатель работает ненормально, меняют местами выводы 1-й обмотки и подключают к сети.

Обычно для удобства переключения обмоток электрической машины со «звезды» на «треугольник» и обратно на клеммном щитке выводы фаз обмоток располагаются в порядке, приведенном на рис. 3.7.

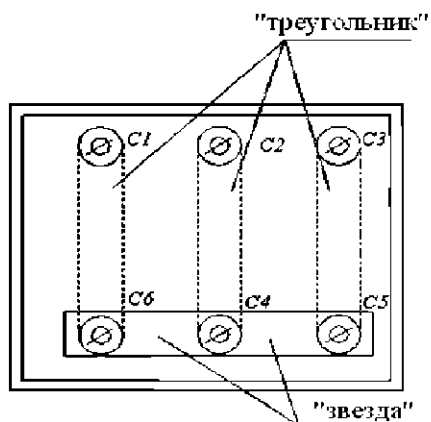


Рис. 3.7. Стандартное расположение выводов фаз на клеммном щитке

Содержание отчета:

1. Итоги определения витковых замыканий в обмотках статора и ротора сначала при помощи подковообразного электромагнита (башмака) и ферромагнитной пластинки, затем – прибором ЕЛ1. Данные занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные о наличии и местонахождении поврежденных секций в статорной обмотке

Испытуемый объект	Количество поврежденных секций	Номера пазов магнитопровода поврежденными секциями
Статор		
Ротор		

Примечание. За первый принять паз с покрашенным клином, отсчет вести по часовой стрелке.

2. Изображение «реального» расположения выводов фазных обмоток на клеммном щитке, определенных с помощью «пробника», тестера, мегомметра (любым из указанных способов).

3. Экспериментальные схемы определения начал и концов фазных обмоток асинхронного двигателя методами трансформации и постоянного тока.

4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Расскажите устройство и поясните принцип работы подковообразного электромагнита.

2. Опишите принципиальное устройство прибора ЕЛ1 и методику определения места положения секций с короткозамкнутыми витками.

3. Как определяются концы и начала фазных обмоток у АД методом переменного тока (трансформации). Поясните принцип метода.

4. Как определяются концы и начала фазных обмоток у АД методом постоянного тока? Поясните принцип метода.

5. Как определяются концы и начала фазных обмоток у АД методом «открытого треугольника». Поясните принцип метода.

6. Как определяются концы и начала фазных обмоток у АД методом подбора, и для каких двигателей этот метод применим?

7. Что общего и в чем разница определения витковых замыканий методом подковообразного электромагнита и прибора ЕЛ1.

8. Объясните принцип определения витковых замыканий в секциях с помощью ферромагнитного шарика.

Лабораторная работа № 4

ДЕФЕКТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучить методы определения повреждений в обмотках машин постоянного тока.

Студент должен знать: основные виды повреждений электрической части машин постоянного тока и причины их возникновения;

уметь: пользоваться приборами и приспособлениями для определения местонахождения поврежденных участков обмоток.

Общие сведения

Первыми электрическими машинами были машины постоянного тока. Однако изобретенные М. О. Доливо-Добровольским асинхронные двигатели оказались проще, дешевле и надежнее в работе, поэтому асинхронные двигатели получили преимущественное распространение. Двигатели постоянного тока имеют ряд преимуществ, благодаря которым они сохранили свое значение в автоматике, некоторых областях промышленности и на транспорте. Основным достоинством этих двигателей является возможность плавного и экономичного регулирования скорости вращения в широких пределах. Микромашины постоянного тока широко используются в системах автоматики в качестве исполнительных двигателей, двигателей для привода лентопротяжных самозаписывающих механизмов, в качестве тахогенераторов и электромашинных усилителей. Двигатели постоянного тока находят применение на транспорте, а также в качестве привода для металлургических станков, в крановых, подъемно-транспортных и других механизмах. Генера-

торы постоянного тока применяются главным образом для питания радиостанций, двигателей постоянного тока, зарядки аккумуляторных батарей, сварки, в электрохимических низковольтных установках, а также в качестве возбуждателей синхронных машин.

Порядок выполнения работы:

1. Определить степень старения и сопротивления изоляции обмоток.
2. Определить место соединения обмотки якоря с корпусом.
3. Определить повреждения в обмотке якоря машины постоянного тока.
4. Определить наличие и местонахождение витковых замыканий.
5. Определить повреждения в обмотках возбуждения.

Определение степени старения и сопротивления изоляции обмоток

Степень старения изоляции обмоток в производственных условиях, как правило, определяется методом прощупывания, согласно которому она делится на четыре класса:

1 класс – изоляция эластичная (наощупь), мягкая, такая изоляция свежая, пригодна к длительной эксплуатации.

2 класс – твердая (наощупь), но при нажатии пальцами трещин не дает, изоляция хорошая, пригодна к длительной эксплуатации.

3 класс – твердая (наощупь), при нажатии пальцами дает мелкие трещины, расслаивается, но от провода отделяется только острыми предметами (ножом), изоляция не надежная, ограниченно годная к эксплуатации.

4 класс – твердая (наощупь), при нажатии – осыпается, изоляция плохая, к эксплуатации не пригодна.

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится между следующими частями*:

- обмоткой главных полюсов и корпусом;
- обмоткой добавочных полюсов и корпусом;
- коллектором и корпусом;
- щеткодержателями с подключенными к ним соединительными проводами и корпусом;
- бандажом на коллекторе и коллектором;

- бандажом и обмоткой;
- между обмотками возбуждения (параллельной и последовательной).

Методику измерения сопротивления изоляции и нормы сопротивления смотрите в лабораторной работе № 2.

*Первоначально сопротивление изоляции измеряют между всей схемой обмоток и корпусом. Если сопротивление изоляции удовлетворительное, то на этом испытание может быть закончено.

Определение места соединения обмотки якоря с корпусом

Наличие металлического замыкания обмотки на корпус может быть обнаружено лампочкой, мегомметром.

Для определения места замыкания используется метод падения напряжения по схеме, приведенной на рис. 4.1.

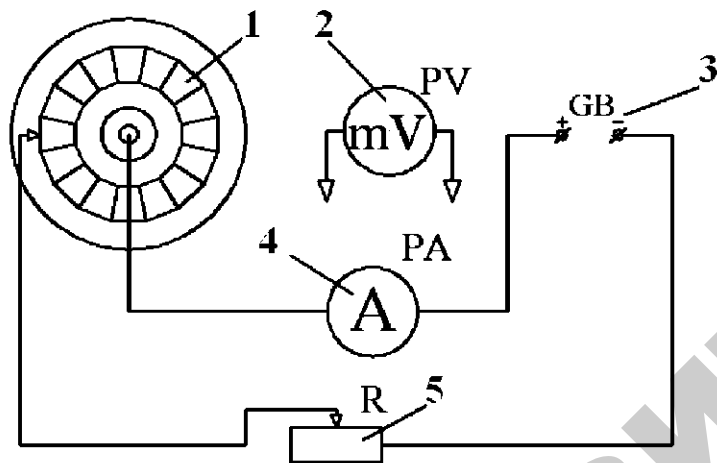


Рис. 4.1. Схема определения замыкания якорной обмотки с корпусом методом падения напряжения:

1 – коллектор; 2 – милливольтметр; 3 – генератор; 4 – амперметр; 5 – реостат

Подается пониженное напряжение (в лаборатории – 6 В) на корпус машины (вал якоря) и к одной из пластин коллектора. При помощи реостата установить ток, протекающий через обмотку якоря, 20–30 % от номинального. Затем милливольтметром измеряется падение напряжения между соседними пластинами коллектора.

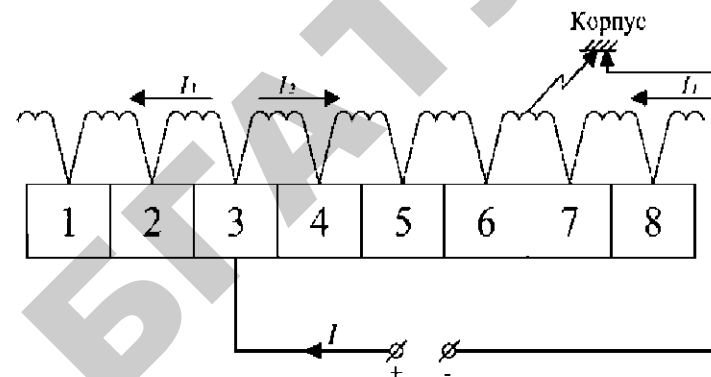


Рис. 4.2. Определение неисправностей в якорной обмотке методом падения напряжения

У пластин, соединенных с поврежденной секцией, изменяется полярность. Объяснение этого явления приведено на рис. 4.2. Изменение полярности вызывается изменением направления тока.

Определение повреждений в обмотке якоря машины постоянного тока методом милливольтметра

Метод милливольтметра основан на измерении падения напряжения в секциях. Он является универсальным методом, позволяющим определить межвитковые замыкания, распайки, обрывы, ошибки в шаге и т. д.

Для проведения исследования якоря этим методом собирается схема (рис. 4.3). Через обмотку якоря пропускают постоянный ток (10–30 % номинального) от источника тока с постоянным напряжением (аккумулятор, генератор постоянного тока). Величина тока регулируется реостатом. Подвод тока в якорную обмотку осуществляется через проводники, наложенные на пластины коллектора на расстоянии друг от друга, равном полюсному делению. Проводники удерживаются бандажом из киперной ленты (хомутом). Питание якоря в этом случае соответствует питанию через щетки. Щупами, соединенными с вольтметром или милливольтметром, производится измерение напряжений между соединениями с пластинами коллектора.

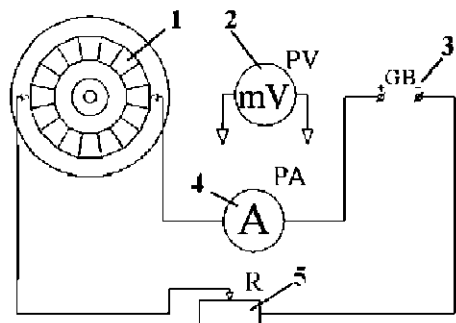


Рис. 4.3. Схема определения повреждений в обмотке якоря методом милливольтметра:
1 – коллектор; 2 – милливольтметр; 3 – генератор постоянного тока;
4 – амперметр; 5 – реостат

Неисправности якорной обмотки будут отражаться на показаниях прибора следующим образом:

1) замыкание между витками соседних секций или между соседними коллекторными пластинами дает пониженное отклонение милливольтметра на этих пластинах.

Следует иметь в виду, что замыкание одного-двух витков в многовитковой секции не всегда может быть обнаружено методом милливольтметра. Якорь в этом случае должен быть проверен магнитным ярмом;

2) замыкание между проводниками верхнего и нижнего слоев обмотки дает пониженное отклонение на большой группе пластин. При обходе пластин в одном месте или при волновой обмотке в нескольких местах по числу пар полюсов получается изменение показаний милливольтметра, сохраняющееся дальше на значительном числе пластин;

3) обрыв и распайка в обмотке характеризуется увеличенным отклонением милливольтметра на пластинах, соединенных с неисправными секциями; обрыв характеризуется отсутствием отклонения стрелки прибора на всех пластинах, кроме одной пары (на каждую пару полюсов), где отклонение может достигнуть опасной для милливольтметра величины;

4) перекрещивание двух нижних и верхних концов секций («двойной крест», рис. 4.4), что может иметь место в обмотке из круглого провода, характеризуется двумя повышенными отклонениями милливольтметра между пластинами 2–3 и 4–5 и обратным отклонением между 3–4.

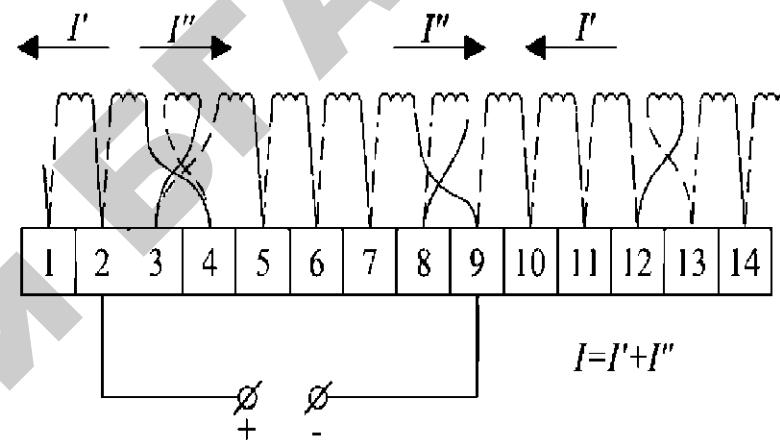


Рис. 4.4. Определение неисправностей в якорной обмотке методом милливольтметра

5) замыкание одной секции на себя не дает отклонений на двух парах пластин: коллекторные пластины 7–8 и 8–9 (рис. 4.4).

Результаты определения повреждений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Данные определения повреждений в якорной обмотке

Номера коллекторных пластин	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	и т. д.
Падение напряжения между коллекторными пластинами								

Определение повреждения в обмотке якоря машины «простой крест»

«Простой крест» (см. рис. 4.4, коллекторные пластины 12–13) не может быть обнаружен методом милливольтметра. В этом случае ток проводится к каждой паре пластин поочередно и компасом E проверяется полярность секций. Изменение полярности указывает «крест».

Для обнаружения наличия «простого креста» собирается схема, представленная на рис. 4.5.

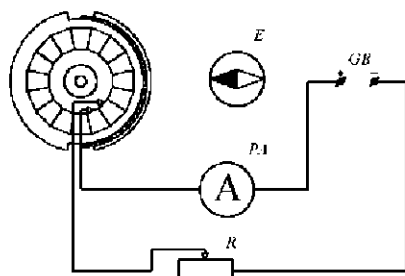


Рис. 4.5. Определение повреждения «простой крест» в якорной обмотке: GB – источник постоянного тока; PA – амперметр; R – реостат; E – компас

Определение наличия и местонахождения витковых замыканий

Наличие и местонахождение витковых замыканий в машинах постоянного тока определяется теми же приборами (кроме прибора типа ЕЛ1) и теми же методами, что и у машин переменного тока.

Методика определения этих неисправностей изложена в лабораторной работе № 3.

Определение повреждений в обмотках возбуждения

В обмотках возбуждения чаще всего повреждаются переходы, выводные концы и места прохода выводных концов через корпус. К наиболее распространенным дефектам следует отнести: замыкание обмоток на корпус, обрыв или плохой контакт в обмотках, соединение между витками.

1. Замыкание обмотки на корпус определяется при помощи мегомметра путем измерения сопротивления изоляции всей обмотки возбуждения относительно корпуса, отдельно от параллельной

и последовательной обмоток, которые предварительно отсоединяют от якоря (рис. 4.6а).

Если у данной обмотки имеет место замыкание на корпус, то рассоединяют схему соединений катушек возбуждения и находят поврежденную катушку путем поочередного замыкания сопротивления корпусной изоляции каждой из них.

Аналогично проверяется изоляция между обмотками возбуждения – параллельной и последовательной.

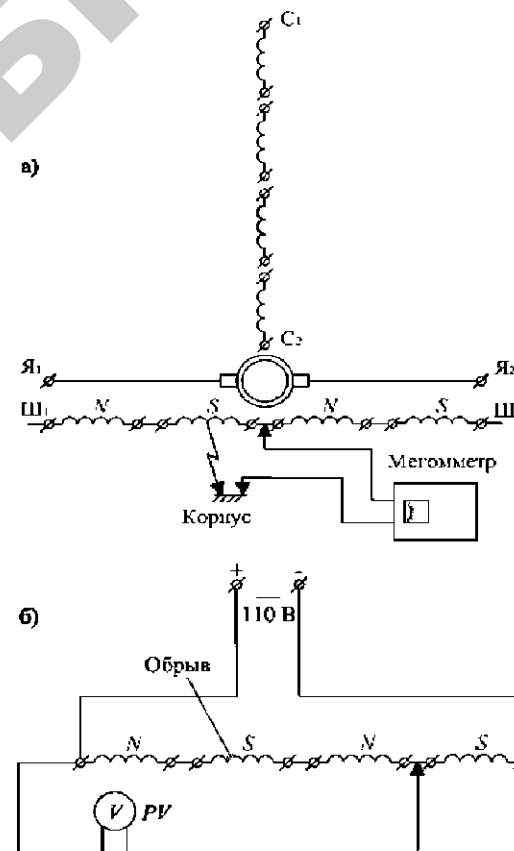


Рис. 4.6. Схемы определения повреждения в обмотках возбуждения: а) – определение места замыкания на корпус серийной (последовательной) обмотки; б) – определение обрыва в шунтовой (параллельной) обмотке

2. Обрыв в обмотках возбуждения встречается в основном в обмотках, выполненных проводом с небольшим сечением, то есть в шунтовых (параллельных).

Наиболее характерным дефектом обмоток возбуждения является плохой контакт соединения катушек. Для обнаружения обрыва или плохого контакта в катушке шунтовой обмотки, к ней подводят номинальное напряжение и вольтметром поочередно касаются выводных концов каждой катушки (рис. 4.6б). При наличии обрыва вольтметр покажет полное напряжение сети. При плохом контакте напряжение на поврежденной катушке больше, чем на других. Чтобы найти обрыв в сращенной (последовательной) обмотке, напряжение подается не более 12 В. Обрыв может быть обнаружен контрольной лампой или тестером.

3. Витковое замыкание в обмотках возбуждения находится следующим методом: пропускают по обмотке возбуждения постоянный ток и измеряют падение напряжения на каждой катушке. Уменьшение падения напряжения на одной катушке по сравнению с остальными укажет на наличие в ней замыкания части витков.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. В соответствии с порядком выполнения лабораторной работы привести все схемы и результаты проделанных опытов.
3. Анализ полученных данных с указанием характера и местонахождения обнаруженных повреждений.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие неисправности обмоток машин постоянного тока могут быть обнаружены методом милливольтметра?
2. Как отражаются на показаниях милливольтметра (вольтметра) следующие неисправности в обмотке якоря:
 - а) замыкание между витками соседних секций или между соседними коллекторными пластинами;
 - б) замыкание между проводниками верхнего и нижнего слоев обмотки;
 - в) обрыв и распайка обмотки;

- г) перекрещивание «двойной крест»;
- д) замыкание одной секции на себя;
- е) перекрещивание «простой крест»?

Объясните, какие причины вызывают соответствующие показания прибора.

3. Как определяется сопротивление изоляции обмоток машин постоянного тока?

4. Как определить обрыв в обмотке возбуждения?

5. Каким образом находится витковое замыкание в катушке возбуждения?

Лабораторная работа № 5

ДЕФЕКТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ЕГО РЕМОНТЕ

Цель работы: ознакомить студентов с конструктивными узлами и деталями трансформатора; с приборами, инструментами и приспособлениями, используемыми при дефектации; освоить методики определения неисправностей в трансформаторах.

Студент должен знать: конструкцию трехфазных силовых маслонаполненных трансформаторов, виды и назначение инструментов и приборов, используемых при дефектации, методики определения неисправностей в трансформаторах;

уметь: проводить дефектацию механической части трансформаторов, пользоваться приборами и приспособлениями для определения местонахождения поврежденных участков обмоток ВН и НН.

Общие сведения

Дефектация трансформатора выполняется при проведении его ревизии и ремонтных работах. Объем дефектации зависит от вида выполняемых ремонтных работ.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ), для трансформаторов предусматривается два вида ремонта:

- а) текущий (эксплуатационный);
- б) капитальный (без замены обмотки, с заменой обмотки без ремонта магнитной системы, с заменой обмоток и частичным ремонтом магнитной системы).

В сельских распределительных электрических сетях наиболее широкое применение получили трансформаторы масляные типа

ТМ и трансформаторы масляные с гофрированным баком ТМГ. Они выпускаются напряжением – U_n 10/0,4 или 35/0,4 кВ (в числителе указана величина напряжения обмотки высшей стороны трансформатора, в знаменателе – низшей), мощностью – (S_n), 25–250 кВ·А, иногда – 630–1000 кВ·А.

Кроме этих, указанных в паспортах показателей трансформаторов, в них содержатся следующие дополнительные сведения:

- а) номинальный ток обмоток высшего напряжения (ВН) и низшего напряжения (НН) – I_n , А;
- б) схема и группа соединения обмоток;
- в) количество ступеней регулирования напряжения;
- г) частота тока f , Гц;
- д) напряжение короткого замыкания U_k , %;
- е) масса трансформаторного масла, кг;
- ж) полная масса, кг.

Оптимальность (номинальность) этих показателей связаны с конструкцией трансформатора, материалами, из которых он изготовлен, условиями его работы и пр..

Номинальные напряжения (U_n) как высшей, так и низшей стороны определяются электрической прочностью изоляции, то есть ее пробивным напряжением $U_{пр}$ на единицу толщины ($E_{пр} = U_{пр} / \delta$). Причем, чем выше напряжение, тем больше должна быть прочность, а это связано и с толщиной используемых в изоляции составляющих диэлектриков и их $E_{пр}'$.

Номинальные токи (I_n) устанавливаются нагревом изоляции, в первую очередь за счет потерь в материале обмоток. Чем выше нагревостойкость изоляции и меньше потери, тем больше допустимый ток.

Номинальная частота тока (f_n) связана с нагревом магнитопровода, а он создается потерями в листах электротехнической стали, отсюда f_n зависит от марки и толщины листов стали сердечника.

Номинальная схема соединения обмоток (Y-Y_n и др.) вытекает из условий работы трансформатора. В частности, при неравномерной нагрузке фаз требуется использовать схемы, обеспечивающие минимальные потери в сети и необходимое качество электроэнергии на питающей стороне трансформатора. При указанных условиях требуются схемы, способные компенсировать потоки нулевой последовательности.

Номинальная группа соединения обмоток (временной сдвиг векторов линейных напряжений обмоток высшей и низшей сторон трансформатора) должна удовлетворять условиям параллельной работы или в кольце с другими трансформаторами электрической сети. Если группы не одинаковы, между одноименными вводами их обмоток возникает уравнительный ток, по величине нередко больший, чем ток короткого замыкания отдельно взятого трансформатора. Количество ступеней регулирования напряжения определяется требованием наименьшего отклонения его от номинального на низшей стороне трансформатора.

Напряжение короткого замыкания трансформатора $U_k\%$ – это внутренне падение напряжения на обмотках трансформатора. Оно равно ($U_k\% = Z_k\%$). Действительно, U_k находится при опыте короткого замыкания, когда ток равен номинальному значению, то есть $U_k = I_n Z_k$, следовательно, $U_k = I_n Z_k$;

$$U_k\% = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100 = \frac{I_n Z_k}{I_n Z_n} \cdot 100 = Z_k\% \quad (5.1)$$

Знание Z_k дает возможность проводить расчеты в электрической цепи, в частности для определения токов короткого замыкания.

Массы масла и трансформатора в целом необходимо знать для заполнения бака после ремонта и подбора подъемного оборудования.

В данном лабораторном практикуме рассмотрена дефектация трансформаторов типа ТМ. Внешний вид и габариты трансформатора приведены прил. 2.

Такие трансформаторы предназначены для эксплуатации в районах с умеренным климатом (при температуре от -45°C до $+40^\circ\text{C}$, исполнение – У) или холодным климатом (при температуре от -80°C до $+40^\circ\text{C}$, исполнение – ХЛ).

Эти трансформаторы предназначены для работы в невзрывоопасной окружающей среде без токопроводящей пыли при высоте установки над уровнем моря не более 1000 м.

Они не предназначены для работы в условиях тряски, вибрации, ударов, в химически активной среде.

Регулирование напряжения осуществляется переключателями

без возбуждения (ПВВ), ступенями по 2,5 % путем переключения ответвлений обмотки высшего напряжения (ВН).

Трансформаторы содержат следующие основные конструктивные узлы:

- 1) магнитопровод (или сердечник) со всеми металлическими креплениями и вспомогательными деталями (прил. 2, 6);
- 2) обмотки высшего и низшего напряжения с изоляцией;
- 3) масляный бак с его элементами;
- 4) вводы (или иначе выводы – съемные);
- 5) остальная арматура трансформатора.

Совокупность узлов, устанавливаемых в бак, называется *выемной*, или *активной*, частью трансформатора, в ранее изданной литературе – *кernom*.

К элементам бака следует отнести: крышку с ее арматурой, трубы, радиаторы, термосифонный фильтр, арматуру для спуска масла, устройства уплотнений.

Магнитопровод с баком, системой охлаждения, а также со всеми металлическими деталями, нормально не находящимися под напряжением, относят к *системе заземленных частей* трансформатора.

Изоляция трансформатора подразделяется на *главную*, разделяющую части, находящиеся под напряжением, между собой и отделяющую их от заземленных частей, и *продольную* – между различными точками данной обмотки (между витками, слоями, катушками).

Выполняется изоляция в виде конструкций и деталей из твердых диэлектриков – электрокартона, кабельной бумаги и пр. Части изоляционных промежутков, не заполненных твердыми диэлектриками в масляных трансформаторах, заполняются нефтяными электроизоляционными маслами, что резко увеличивает их электрическую прочность и снижает толщину изоляции, а, следовательно, и размеры трансформатора.

Целью дефектации является выявление неисправностей в узлах и деталях трансформатора. В конечном итоге, от результатов ее проведения прямо зависят: правильное определение схемы технологического процесса ремонтных работ, подбор требуемых материалов, оборудования, инструментов, приспособлений и т.п., качество и экономичность ремонта и работы трансформатора в эксплуатации.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с паспортными данными трансформатора и записать их.
2. Провести дефектацию трансформатора до его разборки, результаты отразить в дефектовочной ведомости (прил. 21).
3. Ознакомиться с порядком и технологией разборки трансформатора.
4. Провести дефектацию трансформатора после его разборки, результаты отразить в дефектовочной ведомости.

Дефектация трансформатора до его разборки

Поднимать и транспортировать трансформатор на место дефектации и разборки допустимо только за крюки, приваренные к баку.

Дефектация выполняется методами внешнего визуального осмотра и путем замера контрольных показателей.

При визуальном осмотре трансформатора основной задачей является *определение неисправностей в механической и электрической частях трансформатора.*

1. *Проверка уровня масла* в маслоуказательном стекле 7 расширителя 6 (прил. 2). Уровень масла должен соответствовать отметкам на маслоуказательном устройстве. Отметки нанесены в зависимости от температуры окружающей среды. Затем проверяется отсутствие вмятин и трещин на поверхности расширителя и его патрубке, состояние красочного покрытия, отсутствие течи масла через сварные швы, грязевик, патрубков и арматуру маслоуказателя.

2. *Проверка воздухоосушителя*, который также вмонтирован в корпус расширителя и предназначен для предотвращения попадания в бак трансформатора влаги и загрязнений. Конструктивно (прил. 3) воздухоосушитель представляет собой трубу 1, заполненную сорбентом (цеолит, силикагель) 7, в верхней части располагается смотровой колпак 3, заполненный силикагелем 4 (служит индикатором). В нижней части воздухоосушителя имеется колпак с маслом 9, он служит затвором, очищающим засасываемый внутрь расширителя воздух от пыли и других механических примесей.

Контролем оценивается окраска силикагеля: в сухом состоянии он имеет матово-белый или голубой цвет, при насыщении влагой цвет его становится розовым. В последнем случае сорбент требует

замены. Дополнительно проверяется целостность и состояние прозрачных колпаков, уплотнения, состояние деталей креплений.

3. *Проверка состояния бака и охлаждающих устройств.* Бак служит емкостью для специального масла, в которую погружается активная часть трансформатора. У рассматриваемых трансформаторов баки делаются сварными. По исполнению, для обеспечения требуемого уровня охлаждения, они делятся:

- на гладкие ($S_n = 25$ и 40 кВ·А),
- ребристые ($S_n = 63$ кВ·А),
- радиаторные ($S_n = 100, 160, 250$ и 400 кВ·А),
- гофрированные (волнистые) – у типа ТМГ.

В плане они овальной формы. В верхней части к бакам приварены крюки для подъема полностью собранного и залитого маслом трансформатора. Внизу баков располагается пробка 18 (прил. 2) для слива масла. Конструкция сливной пробки позволяет при частичном отвинчивании ее брать пробу масла. У трансформаторов мощностью 160–400 кВ·А в дне бака имеется пробка 1 для удаления остатков масла. К дну баков трансформаторов мощностью 25 и 40 кВ·А приварены пластины, у трансформаторов мощностью 63 и 100 кВ·А – швеллеры 5 для крепления трансформатора при транспортировании. Трансформаторы мощностью 160–400 кВ·А снабжены тележками с гладкими переставными катками для продольного и поперечного передвижения. Для крепления бака к фундаменту в пластинах и швеллерах сделаны отверстия.

Осмотром бака и его элементов устанавливаются: отсутствие вмятин, пробоев, состояние окраски, коррозии металла, отсутствие течи масла в радиаторных трубах, охлаждающих ребрах, стенках, при этом местам соединений и сварным швам уделяют самое пристальное внимание.

У масляных пробок проверяют: окисление, целостность и надежность резьбы, состояние граней и каналов (если они есть).

Особо проводится проверка скобы заземления. Она должна быть надежно приварена к баку.

4. *Состояние и показания термометров.* Термометр даст возможность следить (по температуре в верхних слоях масла) за нагревом трансформатора в процессе его работы. Термометр устанавливается в «карман» на крышке бака трансформатора, в который должно

быть залито трансформаторное масло. Без масла показания термометра неточны, так как воздух является плохим проводником тепла.

При осмотре фиксируются: целостность, крепление, загрязненность термометра. При необходимости проводится проверка допустимой величины отклонения показаний.

5. *Состояние вводов 11, 12* (прил. 2) обмоток высшего и низшего напряжения (ВН и НН). Они проходят через крышку бака трансформатора и конструктивно представляют собой медные (бронзовые) шпильки в фарфоровых изоляторах с деталями крепления к крышке и вводу.

При осмотре устанавливают комплектность всех элементов: на каждой токоведущей шпильке должно быть по две пары гаек с шайбами, не допускается отсутствие гаек и шайб в креплении фарфоровых изоляторов. Кроме того, не допускаются обрывы и трещины в шпильках, а также в металлических деталях креплений, подгары, наличие цветов побежалости от перегревов (особенно в местах соединений).

Состояние резьбы на шпильках, болтах должно отвечать требованиям креплений: вся резьба должна быть целой и надежной. Фарфор изоляторов не должен иметь трещин и сколов, поверхность его должна быть чистой. В заключение проверяется выработка в местах соединений и подтекание масла в уплотнениях.

6. *Состояние термосифонного фильтра 16* (прил. 2). Фильтр (прил. 18) служит для непрерывной регенерации (очистки от продуктов окисления) масла в процессе работы трансформатора. Он представляет собой трубу с крышкой 2, в которой помещается решетка 3, в виде цилиндрического ведерка с сорбентом. Пробка 1 служит для выпуска воздуха при заполнении трансформатора маслом, пробка 4 – для спуска осадков при эксплуатации. Термосифонный фильтр подсоединен к баку трансформатора 5 маслопроводами 6.

Осмотром определяется отсутствие течи масла в местах всех соединений (сварных швов, прокладок), проверяется красочное покрытие, наличие ржавчины.

7. *Состояние наружных частей переключателя 21* (прил. 2). Он предназначен для регулирования напряжения путем соединения соответствующих ответвлений обмоток ВН. Конструктивно переключатель (прил. 19) представляет собой две рейки, на которых за-

креплены неподвижные 1 и подвижные 5 контакты. К неподвижным контактам присоединены регулировочные отводы обмоток трех фаз трансформатора. При вращении колпака 3 переключателя передвигается рейка с подвижными контактами, которые переключают соответствующие неподвижные контакты с присоединенными к ним отводами обмоток. Фиксация положения переключателя осуществляется самоустанавливающимися контактами 1 и 5, а также фиксирующим болтом и указателем положения переключателя 2. Переключения контактов выполняются только при полном отключении трансформатора (как с высшей, так и низшей стороны).

При осмотре проверяется чистота и целостность деталей переключателя, четкость фиксации на каждой ступени.

Также до разборки трансформатора определяются контрольные показатели, к которым относятся:

8. *Сопротивления обмоток постоянному току в холодном состоянии или целостность обмоток.* Сопротивления обмоток постоянному току дают более полную характеристику состояния обмоток трансформатора и его переключателя. Для измерений используются мосты постоянного тока, либо метод амперметра и вольтметра. Замеряются сопротивления обмоток всех трех фаз высшей и низшей сторон. Токи в обмотках не должны превышать 20 % от номинального. Результаты измерений считают удовлетворительными, если сопротивления фаз одной и той же обмотки отличаются друг от друга и от данных заводских измерений не более чем на ± 2 %.

Однако при приемке трансформатора в ремонт на первом этапе чаще всего ограничиваются лишь проверкой целостности обмоток. Она может выполняться приборами: омметром, тестером, мегомметром, пробником (лампочка с электрической батарейкой). При отсутствии обрыва у омметра (мегомметра, тестера) стрелка показывает «0», у пробника загорается лампочка. Проверка проводится на всех ступенях переключателя.

9. *Сопротивление изоляции обмоток и коэффициент абсорбции.* Сопротивление изоляции обмоток ($R_{из}$) высоковольтных трансформаторов измеряется мегомметрами типа М4100* или Ф4102 с измерительными напряжениями не ниже 2500 В. Замеры делаются для обмоток всех фаз относительно корпуса и между обмотками разных напряжений (ВН и НН). В связи с тем, что при измерении в

изоляции протекают процессы поляризации, которые меняют ее сопротивление, фактическую величину сопротивления фиксируют только через 60 с после приложения напряжения.

* При измерении сопротивления изоляции мегомметром типа М4100, для получения правильных результатов необходимо, чтобы вращение рукоятки мегомметра производилось с равномерной скоростью, обозначенной на табличке прибора (120 об/мин) в течение всех 60 с. Сопротивления через 15 с снимаются без остановки вращения.

Стандартом не нормируются сопротивления изоляции обмоток трансформаторов, но они не должны быть ниже 30 % от величины измеренного при предыдущем ремонте или от начала эксплуатации. В случае отсутствия таких данных можно воспользоваться рекомендациями (с учетом влияния температуры), приведенными в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Наименьшие допустимые значения сопротивлений и изоляции обмоток ($R_{ин}$) трансформаторов, МОм

Класс напряжения обмотки ВП	Температура обмотки, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 кВ включительно при $S_{н}$ менее 10 000 кВ·А	450	300	200	130	90	60	40

На сопротивление изоляции трансформатора существенное влияние оказывают влажность и загрязненность.

Для оценки последних факторов в электротехнике широко используется показатель «коэффициент абсорбции» ($K_{аб}$). Он представляет собой отношение тока утечки через 15 с (I_{15^*}) к току через 60 с (I_{60^*}) или, что то же самое (закон Ома), R_{60^*} к R_{15^*} , зафиксированных по мегомметру:

$$K_{аб} = \frac{I_{15^*}}{I_{60^*}} = \frac{R_{60^*}}{R_{15^*}} \quad (5.2)$$

По $K_{аб}$ можно судить о степени загрязнения и увлажнения изоляции, так как количество свободных зарядов в ней пропорционально ее состоянию. При увлажнении число свободных зарядов возрастает, а, следовательно, растет ток, падает сопротивление. Вот почему в случае, если $K_{аб}$ не более чем 1,3, изоляция трансформа-

тора требует сушки. При сухой изоляции коэффициент абсорбции близок к 2, тогда как при значительном увлажнении он близок к 1.

10. Коэффициент трансформации. Проверка коэффициента трансформации K_U проводится с целью обнаружения витковых замыканий в обмотках, а также замыканий в анцапфном переключателе. Для измерения наиболее часто используется метод двух вольтметров.

Расчет выполняется по выражению:

$$K_U = \frac{U_{н}(ВН)}{U_{н}(НН)}, \quad (5.3)$$

где $U_{н}(ВН)$ – номинальное напряжение (линейное или фазное) обмоток высшего напряжения, В;

$U_{н}(НН)$ – номинальное напряжение (линейное или фазное) обмоток низшего напряжения, В.

Обычно измеряются три линейных напряжения со стороны ВН (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) и три со стороны НН (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}) на всех ответвлениях фаз (положениях анцапфного переключателя). В соответствии с ГОСТ 11677-85 [3], предельные отклонения измеренных K_U от нормированных не должны превышать $\pm 0,5\%$ и, в соответствии с ПТЭ, не должны отличаться более чем на $\pm 2\%$ от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз, или от заводских (паспортных) значений.

Порядок и технология разборки трансформатора

Для дефектации требуется соответствующая разборка подлежащего ремонту аппарата. Выполнение разборки трансформатора зависит от типа, мощности, номинального напряжения и года выпуска аппарата. Общий вид трансформаторов типа ТМ, напряжением 10/0,4 кВ, мощностью 25–250 кВ·А, выпусков 90-х годов по настоящее время, приведен в прил. 2. Разборка должна производиться в сухом и чистом помещении в зимнее время, лишь после выдержки в нем не менее суток. Температура выемных узлов трансформатора (определяется по температуре масла) должна быть равной или близкой к температуре окружающей среды (отклонение

не более ± 2 °С), для предотвращения конденсаций влаги, особенно на активной части.

Разборка трансформатора проводится в следующей последовательности.

1. Сливается трансформаторное масло и берется его проба. Перед сливом и взятием пробы трансформаторного масла пробка 18 (прил. 2) должна быть тщательно очищенной. Проба берется при температуре не ниже $+5$ °С в специально подготовленную посуду, после спуска отстоя у дна бака, то есть тогда, когда потечет чистое масло. Посуда перед взятием пробы дважды прополаскивается испытываемым маслом, затем заполняется доверху, герметически закрывается и отправляется на испытание, при котором определяются: электрическая прочность в стандартном маслопробойнике, содержание воды, механических примесей, кислотное число и реакция водной вытяжки. Далее проводится слив масла и снятие крышки, после удаления которой, чтобы грязь и влага не попали в расширитель, все отверстия в крышке закрываются заглушками;

2. Откручиваются и убираются вместе с шайбами гайки 11 и 12, соответственно вводов НН и ВН (прил. 2). Снимаются верхние колпачки с фарфоровых изоляторов ВН и удаляются изоляторы стороны НН.

3. Удаляются колпак и указатель переключателя 21 на крышке бака (прил. 2).

4. Откручивается и убирается крепеж (болты с гайками и шайбами) соединения бака с крышкой трансформатора.

5. Снимается крышка бака со всей арматурой.

6. Откручиваются гайки крепления выемной части трансформатора внутри бака, снимаются пластины и производится выем активной части*. Перед выемом активной части трансформатора (прил. 20) проводится проверка подъемного устройства и его приспособлений на грузоподъемность. Стропы подъемника заводятся так, что бы угол между направлением их и осевой вертикальной линией составлял не более 30° . Подъем выполняется за уголки, установленные на балках магнитопровода.

*Все разборочные работы выполняются только в объеме необходимом для проведения конкретных ремонтных операций. Например, в том случае, если обмотки ВН и НН трансформатора по данным обследования отвечают нормам – разборка обмоток не делается и т. п.

Чтобы убедиться в исправной работе подъемного механизма и его тормоза, а также в отсутствии перекоса, активная часть приподнимается на 100–200 мм от дна бака, несколько минут держится на весу и, если это необходимо, опускается. Если никаких неполадок не обнаруживается, активная часть полностью вынимается из бака и устанавливается на решетку стока масла в маслосборный бак. Проводится тщательный осмотр всех ее узлов. При этом обращается особое внимание на места отложения шлама, проверяются загрязнения в обмотках и в каналах. Затем делают промывку всех деталей струей теплого трансформаторного масла для удаления продуктов разложения, прежде чем они засохнут и затвердеют.

Если ремонт делается в нестационарных условиях, выемную часть поднимают только до положения удобного для промывки ее над баком разбираемого трансформатора. В любом случае после промывки, сердечник оставляется «в покос» на 10–15 мин, чтобы дать стечь маслу и только затем трансформатор устанавливается на специальную площадку для его разборки.

7. Выполняется разборка активной (выемной) части трансформатора.

При разборке выемной (активной) части трансформатора необходимо соблюдать следующую последовательность технологических операций*:

– отвинчиваются гайки и удаляются продольные шпильки (штанги), стягивающие нижние и верхние ярмовые балки (швеллера), обеспечивающие жесткость конструкции выемной части;

– отвинчиваются гайки и удаляются поперечные (стяжные) шпильки, проходящие через листы электротехнической стали верхнего ярма и стержня, удаляются верхние ярмовые балки (швеллера);

– расшихтовывается (разбирается по листам) верхнее ярмо;

– снимаются обмотки (ВН и НН) со стержней магнитопровода;

– удаляются расклинивающие рейки и отделяются обмотки ВН от обмоток НН;

– расшихтовывается магнитопровод.

*У старых конструкций трансформаторов активная часть скреплена с крышкой шпильками, в этом случае крышка поднимается подъемным механизмом вместе с активной частью.

Дефектация трансформатора после его разборки

Дефектацию трансформатора после его разборки выполняют методами:

- внешнего визуального осмотра;
- замеров требуемых показателей контрольными приборами со сравнением полученных результатов с допустимыми нормами;
- прощупывания изоляции обмоток.

При визуальном осмотре обмоток трансформатора обращается внимание на следующие показатели:

- состояние витковой изоляции;
- отсутствие деформации и смещения обмоток в радиальном и осевом направлениях относительно магнитопровода и между обмотками, что может быть следствием сдвигов и ослаблением прокладок, планок, распорок;
- состояние охлаждающих каналов между обмотками, а также между обмотками низшего напряжения и магнитопроводом;
- состояние паяк на обмотках и состояние соединений на анцапфном переключателе;
- степень старения изоляции.

Изоляционные, и дистанционные детали: цилиндры, перегородки, прокладки изготавливают преимущественно из электрокартона, а планки и рейки – из твердых пород дерева, обычно бука. При осмотре этих деталей необходимо проверить прочность их крепления, нет ли усушки, пробоя изоляции, которые сопровождаются появлением прожогов, трещин, обугливанием, растрескиванием.

Для определения степени старения электрокартона, из нескольких мест (изоляции ярма, изоляции между слоями, витками и т. д.) вырезают образец в виде полоски (размером, приблизительно, 10×40 мм), который сгибают под прямым углом и затем свободно складывают вдвое без сдавливания места сгиба. Если при полном сгибе надвое электрокартон не ломается – изоляция хорошая (свежая), если при полном изгибе образуются трещины – изоляция удовлетворительная, когда при полном сгибе изоляция ломается – она ограниченно годная. Изоляция, которая ломается при сгибе до прямого угла – непригодна для дальнейшей работы.

Степень старения изоляции по «методу прощупывания» подразделяется на четыре класса:

1 класс – изоляция хорошая. При нажатии пальцами она мягкая, эластичная;

2 класс – изоляция удовлетворительная, пригодна для длительной эксплуатации. При нажатии она твердая, но трещин не образует;

3 класс – изоляция ненадежная (ограниченно годная). При надавливании на ней появляются мелкие трещины или она расслаивается;

4 класс – изоляция плохая и к дальнейшей эксплуатации непригодна. При нажатии она осыпается.

При визуальной дефектации магнитопровода обращается внимание:

- на отсутствие оплавления листов активной стали;
- отсутствие цветов побежалости и ржавчины на стали, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии межлистовой изоляции и магнитопровода, (отсутствие перегрева);
- качество шихтовки (отсутствие перекоса стержней, увеличенных зазоров в местах стыков);
- состояние изоляции стяжных шпилек и ярмовых балок; качество прессовки активной стали.

Одним из методов оценки состояния изоляции стяжных шпилек и ярмовых балок является измерение сопротивления изоляции мегомметром на 1000–2500 В. Сопротивление изоляции этих частей относительно магнитопровода должно быть не ниже 10 Мом.

Качество прессовки магнитопровода проверяют остро заточенным ножом (калибром), кончик лезвия которого при среднем усилии нажатия не должен входить между листами электротехнической стали на глубину более 3 мм.

Порядок выполнения работы:

1. В отчет выполнения лабораторной работы выписать все паспортные данные, ревизуемого трансформатора (по заданию преподавателя).
2. Определить, для чего необходимы приведенные в паспорте номинальные данные.
3. В изложенном порядке (п. 5.1) выполнить все пункты внешнего осмотра полностью собранного трансформатора.
4. Результаты осмотра до разборки трансформатора заносятся в дефектовочную ведомость (прил. 21).
5. Мегомметр, находящийся в лаборатории, соединительными проводами (свободными концами) поочередно подключается к вводам обмоток трансформатора; для высшей стороны между фазами А–В, В–С, А–С; для низшей – а–0, б–0, с–0.

Результаты измерений занести в табл. 5.2. Дать заключение о состоянии обмоток.

Таблица 5.2

Определение целостности обмоток*

Положение переключателя	Обмотка высшего напряжения			Обмотка низшего напряжения		
	A-B	B-C	C-A	a-0	b-0	c-0
I и т. д. до V						

*В таблице состояние обмотки указывается «цела», «обрыв». Объем измерений выполняется по указанию преподавателя.

6. Измерить сопротивление изоляции трансформатора мегомметром Ф 4102/2-1М. При измерениях соблюдается следующий порядок работы с прибором:

- подключить свободные концы к зажимам r_x мегомметра;
- установить переключатель измерительных напряжений в положение 2500 В;
- включить питание (сеть ~ 220 В);
- при разомкнутых свободных концах (от зажимов r_x), нажать на кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ I» и установить ручкой «УСТАН. ∞» стрелку прибора на отметку «∞»;
- замкнуть свободные концы (от зажимов r_x), нажать на кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ I» и установить стрелку прибора ручкой «УСТАН. ∞» на отметку «0». После этого, нажав на обе кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ II», проверить установку стрелки на отметке «0». Если имеет место отклонение стрелки от положения «0», следует установить ее ручкой «УСТАН. 0» посередине двух показаний.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток ВН относительно бака подключить один свободный конец к любому из вводов А, В, С (кроме того, который соединен с обмоткой, имеющей обрыв), второй свободный конец подключить к баку. Затем, зафиксировав время, нажать на кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ I», подав тем самым измерительное напряжение (2500 В). (Все время измерения (60 с) держать кнопку нажатой!). Через 15 с, по шкале I, записывается первое показание R_{15} , через 60 с – второе показание R_{60} , которое и является действительным сопротивлением изоляции обмоток ВН – $R_{ин}$.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток НН относительно бака работа выполняется аналогично, только первый сво-

бодный конец (от зажимов r_x) следует подключить к одному из вводов обмотки низшего напряжения: $a, b, c, 0$ (кроме того, у которого имеется обрыв в обмотке).

Для измерения сопротивления изоляции между обмотками ВН и НН проводится аналогичный перечень операций при подключении свободных концов (от зажимов r_x) к вводам этих обмоток. Далее по формуле (5.2) рассчитать значения коэффициента абсорбции $K_{аб}$. Результаты измерений сопротивлений и расчетов коэффициента абсорбции свести в табл. 5.3. Дать заключение о состоянии изоляции обмоток.

Таблица 5.3

Данные о сопротивлениях изоляции обмоток

Измерения	Сопротивление изоляции, МОм		$K_{аб}$
	R_{15}	R_{60}	
Бак-обмотка ВН			
Бак-обмотка НН			
Обмотки ВН-НН			

7. Для определения коэффициента трансформации (K_U) на обмотку высшего напряжения ВН испытуемого трансформатора подать пониженное напряжение ~ 220 В. Измерительными вольтметрами определить напряжения между фазами на обмотках высшего и низшего напряжений. Замеры напряжений проводить при положении антапфного переключателя от I до V. Провести расчеты K_U по выражению (5.3).

Результаты измерений и расчетов занести в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты расчетов коэффициентов трансформации

Положение переключателя	Напряжения, В						Коэффициенты трансформации		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	K_U A-B	K_U B-C	K_U C-A
I и т. д. до V									

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения о порядке проведения дефектации трехфазного масляного трансформатора до и после его разборки.
3. Составленная сводная дефектовочная ведомость по результатам осмотра трансформатора (прил. 21).
4. Экспериментальные схемы, по которым проводились измерения контрольных показателей.
5. Таблицы с замеренными и рассчитанными контрольными показателями.
6. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите контрольные показатели, которые определяются до разборки трансформатора, и их нормы.
2. Как определить целостность обмотки трансформатора?
3. Как оценивают состояние изоляции собранного трансформатора?
4. Как определяют коэффициент трансформации?
5. Каков порядок разборки трансформатора при дефектации?
6. Каков объем дефектации до разборки трансформатора?
7. Объем дефектации обмоток трансформатора.
8. Объем дефектации магнитопровода трансформатора.

Лабораторная работа № 6

ДЕФЕКТАЦИЯ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

Цель работы: изучить объем и методику дефектации при техническом обслуживании и ремонте аппаратов напряжением до 1 кВ.

Студент должен знать: основные виды аппаратов защиты и управления, их конструкцию, виды повреждений;

уметь: пользоваться приборами и приспособлениями для определения повреждений у электрических аппаратов до 1 кВ.

Общие сведения

Электрическими аппаратами называются электрические устройства и механизмы, которые предназначены для управления процессами производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Управление включает в себя задачи ручного и автоматического регулирования, а также контроля и защиты. В процессе работы происходит износ аппаратов.

Износ наступает при истощении комплексной, физической, ресурсной полноценности каждой отдельной рабочей части. Степень физического износа рабочей части выявляется при разборке узлов, выводимых в ремонт в процессе их отбраковки, которая является завершающим этапом эксплуатационного слежения за износом механизмов и их деталей. Эта возможность, в свою очередь, определяется двумя условиями: четким выполнением поэтапного развития износа и способностью определить предельное состояние износа, при котором дальнейшее использование рабочей части становится неоправданным.

Порядок выполнения работы:

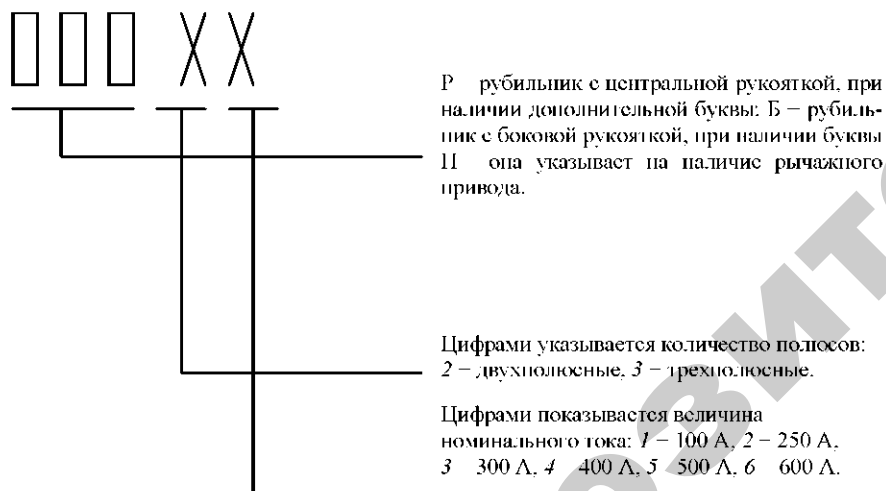
1. Разобрать и провести дефектацию рубильников, автоматических выключателей и магнитных пускателей при техническом обслуживании и текущем ремонте.

2. Сделать выводы о состоянии рассмотренных низковольтных аппаратов.

Дефектация и устранение неисправностей у рубильников

Рубильник предназначен для ручного (неавтоматического) включения и отключения электрических цепей с постоянным напряжением до 440 В и переменным до 500 В.

Выпускаются рубильники одно-, двух- и трехполюсных исполнений, на токи до 1000 А, с коммутационной износостойкостью 500–5000 циклов, механической износостойкостью до 10 000 операций. Буквенные обозначения серий рубильника:



Пример. РПБ36 – рубильник с боковым рычажным приводом, трехполюсный, номинальный ток 600 А.

Наиболее уязвимы у рубильников места контактов ножей с губками. Основное требование к ним – чистота и плотное прижатие.

Обгоревшие после многочисленных коммутационных операций губки и ножи, рекомендуют, если они к ремонту непригодны, заменять новыми, при помощи плоскогубцев, гаечных ключей, также используют сменные головки накидных ключей.

При наличии небольших обгораний контактных поверхностей достаточно очистить их от копоти и наплывов напильником, надфилем, мелкой шлифовальной шкуркой, снимая как можно меньше металла. Смазывать ножи и губки не рекомендуется, так как при возникновении электрической дуги смазка сгорая, дополнительно загрязняет контактные поверхности.

Для изготовления ножей используется полосовая, твердотянутая электротехническая медь. Размеры новых ножей должны соответствовать старым. Болты должны быть затянуты, ножи не должны быть перекошены.

Если сработались подшипники поворотных ножей, рассверливаются отверстия до большего размера и устанавливаются в них плотно втулки, пригнанные по диаметру валика. Участки валика под ножами изолируются бакелитовой бумагой, а между ними – эмалью. Неисправные детали рычажного привода заменяются новыми.

Дефектация и устранение неисправностей у автоматических выключателей

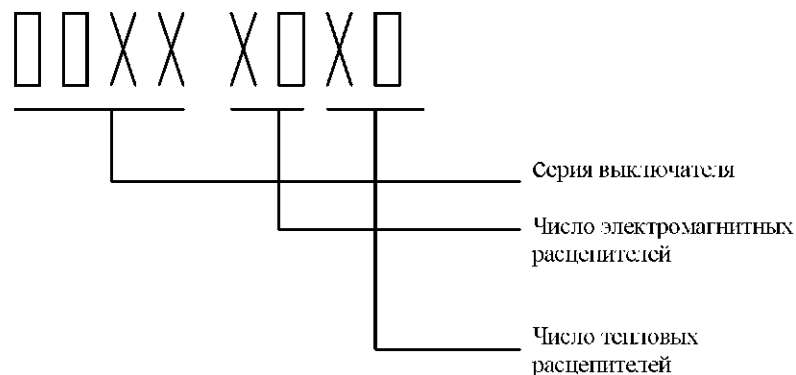
Автоматические выключатели служат для автоматического отключения электрической цепи при перегрузках, КЗ, чрезмерном понижении напряжения питания, изменении направления мощности и т. п., а также для редких включений и отключений вручную номинальных токов нагрузки. Автоматические выключатели обеспечивают одновременное отключение трех фаз сети, упрощают эксплуатацию и сокращают простой оборудования.

Отечественная промышленность выпускает автоматические выключатели серий АП50, А63, АК50, АК63, АЕ2000, А3700, ВА.

Выключатели изготавливаются с электромагнитными и тепловыми расцепителями (исполнение МТ), только с электромагнитными расцепителями (исполнение М) или только с тепловыми расцепителями (исполнение Т), без расцепителей на номинальный ток 50 А.

Примеры условных обозначений и порядка разборки автоматических выключателей некоторых серий:

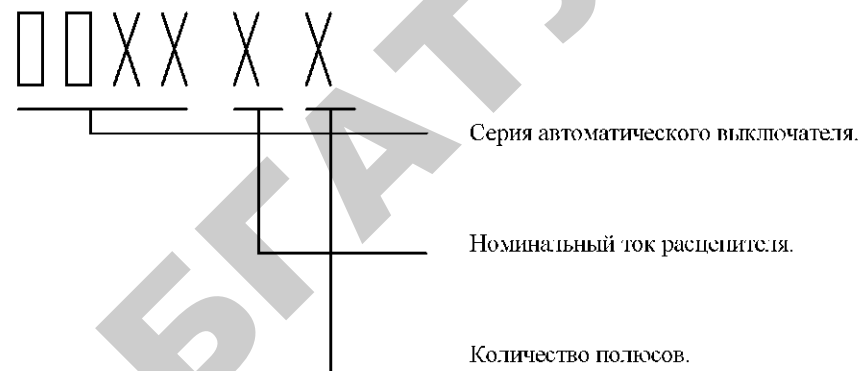
1) автоматические выключатели серии АП50 (принципиальная схема автоматического выключателя АП50Б приведена в прил. 26):



Пример. АП50 – 2МЗТ: серия АП50 с двумя электромагнитными, тремя тепловыми расцепителями.

Содержание операций, технические требования при разборке автоматического выключателя серии АП50. Вывинтить винты крепления крышки к основанию 1 автомата и снять крышку. Снять дугогасительные камеры. Расцепить рычаг, предварительно нажав для этого на кнопку 18 (Стоп) или рейку траверсы. Вывернуть винты крепления выводных проводов. Вывернуть винты крепления неподвижных контактов 5 к основанию и снять неподвижные контакты. Вывернуть винты крепления подвижных контактов 12 и снять их. Снять с держателей возвратную пружину 13;

2) автоматические выключатели серии АЕ2000 (принципиальная схема автоматического выключателя АЕ2000 приведена в прил. 25):

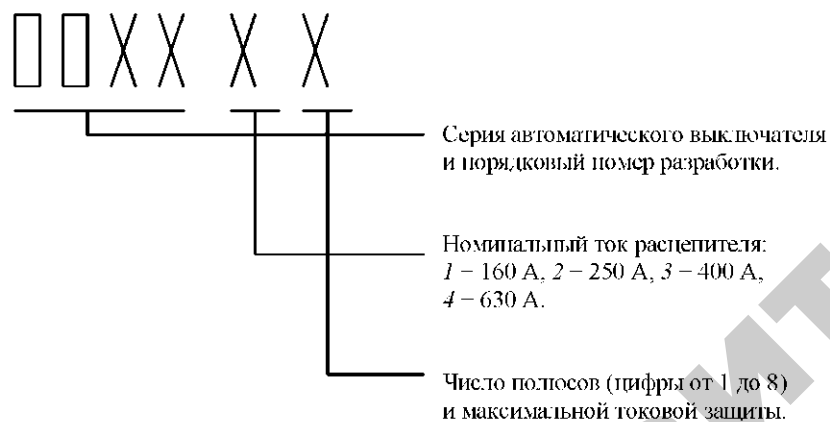


Пример. АЕ2043М – автоматический выключатель серии АЕ20, третья цифра – величина выключателя в зависимости от номинального тока: (4 – 63 А, 5 – 100 А, 6 – 160 А), четвертая цифра – число полюсов и комбинации с максимальным расцепителем тока (2 – двухполюсные с электромагнитными максимальными расцепителями тока в габарите трехфазного; 3 – трехполюсные с электромагнитными максимальными расцепителями тока; 5 – двухполюсные с электромагнитными и тепловыми максимальными расцепителями тока в габарите трехполюсного; 6 – трехполюсные с электромагнитными и тепловыми максимальными расцепителями тока, буква М – обозначение выключателя модернизированного (М – для выключателей на номинальный ток 63 и 100 А, отсутствие буквы – на ток 160 А).

Содержание операций, технические требования при разборке автоматического выключателя серии АЕ2000. Вывинтить винты крепления крышки 1 автомата и снять крышку. Снять рукоятку 5 включения и отключения механизма. Вынуть дугогасительные камеры 2. Расцепить рычаг 6, нажав на отключающую рейку расцепителя. Снять пластину, закрывающую контакты вспомогательной цепи. Вывинтить винты и снять подвижные контакты вспомогательной цепи и изолирующие прокладки. Вынуть толкатели контактов вспомогательной цепи. Отпаять гибкие токопроводящие шины от выводов электромагнитных расцепителей. Вывинтить винты и вынуть механизм управления 7 в сборе с подвижными кон-

тактами 9 силовой цепи. Вынуть винты и снять неподвижные контакты 10 силовой цепи в сборе с зажимными устройствами, а также неподвижные контакты вспомогательной цепи. Разобрать зажимные устройства. Вынуть винты крепления токоведущих шин. Снять с основания механизма управления траверсу в сборе с подвижными контактами. Вынуть ось крепления отключающей рейки расцепителя, снять с основания механизма управления рейку вместе с пружиной. Оттянуть пружину 4 механизма управления, вынуть ось ее крепления, вынуть к рычагу и снять рычаг механизма управления. Снять пружину механизма управления с оси ломающихся рычагов. Вынуть оси крепления подвижных контактов к траверсе и снять подвижные контакты в сборе с гибкими шинами и вместе с пружинами. При снятии среднего подвижного контакта снимаются и ломающиеся рычаги в сборе.

3) автоматические выключатели серии АЗ700:



Пример. АЗ714БЗ – автоматический выключатель серии АЗ700, первой величины трехполюсный, с электромагнитным и полупроводниковыми расцепителями максимального тока токоограничивающий, для умеренного климата, категория размещения 3 (Б – токоограничивающие, С – селективные, Н – неавтоматические, Ф – нетокоограничивающие). Цифра 1 на месте пятого знака в обозначении выключателя озна-

чает его исполнение двухполюсное, токоограничивающее с электромагнитными расцепителями; 2 – трехполюсное, токоограничивающее с электромагнитными расцепителями; 3 – двухполюсное, токоограничивающее с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями; 4 – соответствует примеру с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями максимального тока; 5 – двухполюсное с электромагнитными и тепловыми термобиметаллическими расцепителями; 6 – трехполюсное с электромагнитными и тепловыми расцепителями; 7 – двухполюсное без расцепителей неавтоматическое; 8 – трехполюсное неавтоматическое.

При разборке автоматических выключателей используют следующие инструменты: отвертки, паяльник электрический, плоскогубцы комбинированные, пинцет.

После разборки неисправных автоматических выключателей проводят их дефектацию. При этом необходимо использовать специальные приспособления и инструменты, такие как штангенциркуль, щуп, контрольный винт М5, динамометр пружинный. Характерные неисправности и способ ремонта автоматических выключателей приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Неисправности и способы ремонта автоматических выключателей

Неисправность	Способ ремонта
1. Трещины в крышке или корпусе автомата	Замена – при наличии трещин, проходящих через крепежные отверстия или при наличии трещин длиной 3 см, не проходящих через крепежные отверстия узлов и деталей. Склеивание – при длине трещин 3 см и менее, не проходящих через крепежные отверстия узлов и деталей

Окончание табл. 6.1

Неисправность	Способ ремонта
2. Излом или трещины на рукоятке (кнопках) включения и отключения автомата, деталей механизма расцепителя, фиксатора, деталей управления	Замена
3. Деформация деталей 4. механизма управления	Рихтовка. При невозможности – замена
5. Брызги металла или копоть на пластинках или стенках дугогасительных камер	Зачистка пластин, очистка стенок дугогасительных камер
6. Выгорание, замыкание пластин дугогасительных камер	Замена
7. Обгорание или окисление контактных поверхностей выводных зажимов	Зачистка зажимов
8. Оплавление витков крепления токопроводящих проводов	Замена
9. Выгорание или повреждение резьбы в отверстиях под витки крепления токопроводящих проводов	Заварка отверстий и нарезание новой резьбы
10. Износ, обгорание, брызги металла на поверхности напаек контактов	Зачистка контактов при толщине напаек 0,8 мм и замена контактов при толщине напаек менее 0,8 мм
11. Выгорание или выкрашивание напаек контактов	Замена
12. Обугливание изоляции катушек электромагнитных расцепителей	Замена
13. Излом или выгорание гибкой токоведущей шины	Замена

После разборки и проведенной дефектации, в случае обнаружения неисправностей, проводят ремонт деталей и узлов автоматических выключателей с использованием следующего оборудования,

инструментов и материалов: станок, ванночка для бензина, ванночка для ацетона, паяльник электрический, трансформатор сварочный, шабер трехгранный, надфиль плоский, метчик М5, вороток для метчика, штангенциркуль, струбина (и др.), ветошь обтирочная, ацетон, бензин авиационный Б-70, клей БФ-2, эпоксидный состав, шкурка обтирочная. Содержание операций и технология устранения неисправностей приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Технология устранения неисправностей у автоматических выключателей

Содержание операций	Технология устранения неисправностей
1. Склеивание трещин крышки, корпуса или рукоятки включения	Снять фаски с кромок трещины. Протереть обработанную поверхность трещины ветошью или кистью, смоченной в ацетоне, дать просохнуть. Нанести эпоксидный состав на поверхность, сжать струбиной склеиваемую деталь и поместить ее в сушильный шкаф. Снять наплывы шва от излишков состава
2. Зачистка пластин, очистка стенок дугогасительных камер	Зачистить брызги металла на пластинах дугогасительных камер надфилем, очистить стенки дугогасительных камер ветошью, смоченной в бензине
3. Зачистка контактных поверхностей выходных зажимов	Зачистить контактную поверхность надфилем и протереть ветошью, смоченной в бензине
4. Заварка отверстий под винты крепления токопроводящих проводов и нарезание резьбы нормального размера	Заварить отверстия с поврежденной резьбой латунью, просверлить новые отверстия диаметром 4,2 мм и нарезать в них резьбу М5. Зачистить поверхность зажима надфилем
5. Зачистка контактных напаек (при толщине напаек контактов 0,8 мм и более).	Удалить нагар ветошью, смоченной в бензине, а брызги металла – надфилем
6. Рихтовка деталей механизма управления	С помощью настольных тисков, молотка и плоскогубцев отрихтовать деформированную деталь

После сборки автоматических выключателей проводится проверка их работы, регулировка и испытания. При этом используют специальные приспособления и инструмент: приспособление для проверки и регулировки защиты электроприводов и электроустановок КИ-6366, мегомметр М4100, штангенциркуль, динамометр, отвертки, шуп.

Испытания автоматических выключателей необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Проверить включение, отключение автомата. При включении и отключении не должно быть заеданий, а также задвижений.

2. Измерить провалы контактов (размеры У на рис. 6.1) Значения провалов должны соответствовать данным, приведенным в табл. 6.3. При необходимости отрегулировать провалы контактов для автомата АЕ2000 подкладкой пластинок под неподвижные контакты.

3. Измерить силу нажатия контактов. Она должна соответствовать данным, приведенным в табл. 6.3.

4. Проверить одновременность замыкания контактов (табл. 6.3).

5. Измерить сопротивление изоляции автомата между верхними и нижними зажимами каждого полюса в отключенном положении, а также между полюсами во включенном положении. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм в холодном состоянии при температуре окружающего воздуха 20 °С. Измерение сопротивления изоляции проводить мегомметром на 2500 В.

6. Проверить работу элементов электромагнитных расцепителей. Для этого подключить один из полюсов автомата к приспособлению для проверки и регулировки защиты. Включить автомат и установить при помощи регулирующего устройства такую силу испытательного тока, чтобы она была: для выключателей АП50 – на 15 % ниже силы тока установки электромагнитного расцепителя, для АЕ2033, АЕ2043, АЕ2053 – 20 %. При этом автомат не должен отключаться. Плавно увеличивать силу тока, пока не произойдет отключение автомата. Сила тока срабатывания не должна превышать силы тока уставки расцепителя (табл. 6.3) более чем на 15 %. Аналогично проверить срабатывание электромагнитных расцепителей остальных полюсов автомата. Отключение автомата должно происходить при срабатывании каждого электромагнитного элемента.

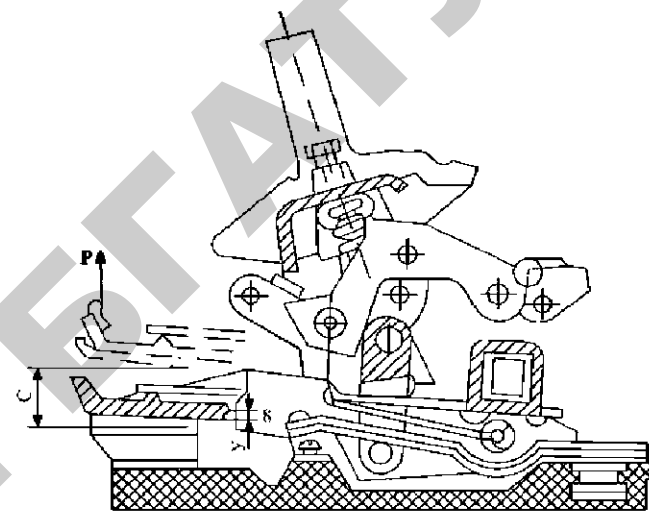


Рис. 6.1. Места измерений растров, провалов, контактных нажатий выключателей:
С – растрор; У – провал; Р – контактное нажатие главных контактов

Таблица 6.3

Основные параметры выключателей

Параметры	Выключатели			
	АП50	АЕ2033	АЕ2043	АЕ2053
Провал контактов У (не менее), мм	2,2	4 ± 1,5	4 ± 1,5	6 ± 2
Сила нажатия главного контакта Р, не менее, Н (кгс)	11(1,1)	3,5(0,35)	3,5(0,35)	9(0,9)
Неодновременность замыкания контактов (не более), мм	–	Не нормирована		
Сила тока срабатывания электромагнитного элемента, А	11	12	12	12
Отключение силы тока срабатывания электромагнитного элемента	15	20	20	20

Дефектация и устранение неисправностей у магнитных пускателей

Магнитным пускателем называется электрический аппарат, предназначенный для дистанционного включения и отключения двигателей переменного тока, а также силового, технологического оборудования и для защиты (в исполнении с тепловым реле) от длительных перегрузок.

Промышленность в настоящее время изготавливает несколько видов магнитных пускателей: ПАЕ, ПМА, ПМЛ (рис. 6.2).

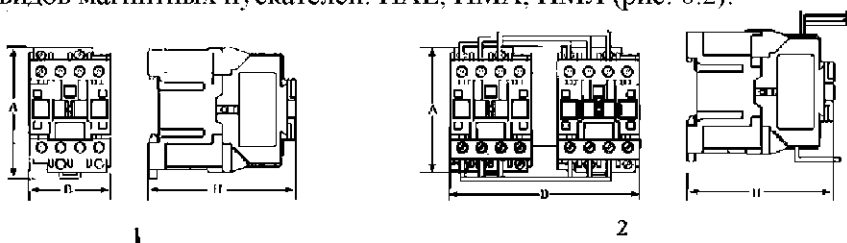


Рис. 6.2. Магнитные пускатели серии ПМЛ:
1 – нереверсивные; 2 – реверсивные

Условное обозначение магнитных пускателей серии ПМЛ*:



*Величина пускателей в зависимости от номинального тока: 1 – 10 А; 2 – 16 А; 3 – 25 А; 4 – 63, 80 А; 5 – 125 А; 6 – 160 А.

Пускатели электромагнитные ПМЛ применяются в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором переменного напряжения до 660 В и частоты 50 и 60 Гц. При наличии трехполюсных тепловых реле серий РТТ и РТЛ пускатели осуществляют защиту управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз. Магнитные пускатели пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники при шунтировании включающей катушки помехоподавляющим устройством или при тиристорном управлении. Предназначены они также для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети и отключения трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Дополнительные функции: реверсирование, при наличии тепловых реле – защита двигателей от перегрузок недопустимой продолжительности, в том числе возникающих при выпадении одной из фаз, изменение схемы включения обмоток Y/Δ .

Назначение и наличие теплового реле: 1 – нереверсивный без теплового реле; 2 – нереверсивный с тепловым реле; 5 – реверсивный пускатель без теплового реле с электрической и механической блокировками; 6 – реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками; 7 – пускатель «звезда» – «треугольник».

Степень защиты и наличие кнопок: 0 – IP00 без кнопок; 1 – IP54 без кнопок (для пускателей без теплового реле) или с кнопкой «Реле» (для пускателей с пусковым реле; 2 – IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 3 – IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп» и сигнальной лампой (изготавливаются только для напряжения 127, 220, 380 В, 50 Гц); 4 – степень защиты IP40 без кнопок; 6 – степень защиты IP20.

Число контактов вспомогательной цепи:

Цифра	Род тока цепи управления	Число и исполнение контактов вспомогательной цепи пускателей	
		на 10–16–25 А, 40 А (с уменьшенными весовыми показателями)	на 40–63–80 А
0		1з	1з + 1р
1		1р	–

Неисправности и способы ремонта магнитных пускателей приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Неисправности магнитных пускателей и способы ремонта

Неисправность	Способ ремонта
Износ, обгорание, брызги металла на поверхности напаяк контактов	Зачистка контактов (при толщине напаяк 0,8 мм и более) замена контактов (при толщине напаяк менее 0,8 мм)
Выгорание, выкрашивание напаяк контактов	Замена контактов при более 10 % поверхности контактов
Излом контактной пружины или повреждения ее антикоррозийного покрытия	Замена
Витковое замыкание, подгорание изоляции обмотки	Намотка новой обмотки, замена катушки
Повреждение наружного слоя изоляции катушки	Восстановление наружного слоя изоляции катушки, пайка выводного проводника
Коррозия поверхности соприкосновения кернов сердечника или якоря, наклеп, уменьшение воздушного зазора	Очистка поверхности соприкосновения кернов
Повреждение короткозамкнутого витка сердечника	Замена
Износ или срыв резьбы в отверстиях под винты крепления токопроводящих проводов	Заварка отверстий и нарезание новой резьбы
Обгорание или окисление контактных поверхностей зажимов	Зачистка
Оплавление винтов крепления токопроводящих проводов	Замена
Излом, трещины или сколы пластмассовых деталей	Замена

После разборки и проведенной дефектации, в случае обнаружения неисправностей, проводят ремонт деталей и узлов магнитных пускателей с использованием следующего оборудования, инструментов и материалов: станок настольно-сверлильный, станок намоточный, станок плоскошлифовальный, тиски поворотные, шкаф сушильный, ванночки для эмали, лака, бензина, напильник плоский, паяльник электрический, паяльник электродуговой, надфиль плоский, плоскогубцы комбинированные, метчик М5, вороток для метчика, пинцет, штангенциркуль, кисть, щуп, шкурка шлифовочная, ветошь обтирочная, припой, клей БФ-2, лакобумага электроизоляционная, лак МЛ-92, эмаль №206, бензин авиационный Б-70. Содержание операций и технология устранения неисправностей приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Технология устранения неисправностей у магнитных пускателей

Содержание операций	Краткая технология устранения неисправностей
Зачистка контактов (при толщине напаяк 0,8 мм и более)	Удалить с контактов нагар ветошью, смоченной в бензине, а брызги металла – ветошью
Заварка отверстий и нарезание резьбы нормального размера	Заварка отверстий с изношенной резьбой, просверлить новые отверстия и нарезать в них резьбу. Зачистить поверхность зажима надфилем
Удаление обмотки	Разрезать обмотку и удалить поврежденный обмоточный провод
Намотка обмотки катушки пускателя ПМЛ	Вставить в пазы каркаса токопроводящие клеммы и припаять к одной из них залуженный конец обмоточного провода, обернуть каркас катушки двумя слоями электроизоляционной лакобумаги. Приклеить конец бумаги клеем БФ-2. При намотке провода через каждые 3–4 ряда должны быть уложены прокладки из электроизоляционной лакобумаги. Конец обмотки припаять на вторую токоподводящую клемму

Окончание табл. 6.5

Содержание операций	Краткая технология устранения неисправностей
Проверка сопротивления, пропитка и маркировка катушки	Измерить сопротивление катушки. Обернуть катушку тафтяной лентой, погрузить в ванну с лаком и выдержать до прекращения выделения пузырьков. Извлечь из ванны, дать стечь излишку лака
Очистка поверхности соприкосновения кернов от коррозии	Зачистить поверхность соприкосновения шлифовальной шкуркой до металлического блеска
Шлифование поверхности кернов	Прошлифовать поверхности кернов до удаления следов наклепа
Шлифование среднего керна	Прошлифовать средний kern якоря (или сердечника) так, чтобы зазор между якорем и сердечником был в пределах 0,2–0,25 мм
Зачистка блок-контактов	Удалить нагар ветошью, смоченной в бензине, а брызги металла – надфилем

Проверку работы, регулировку и испытания магнитных пускателей необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Проверить соответствие электрических соединений пускателя по схеме.

2. Подключить пускатель к схеме испытаний. Подать на катушку пускателя напряжение, равное 85 % от номинального. Магнитный пускатель должен включиться без остановки или заметной задержки подвижной системы. Допускается умеренный шум магнитопровода, характерный для электромагнита переменного тока. Резкое дребезжание, вызванное периодическими ударами якоря и сердечника, не допускается.

3. Снять дугогасительную камеру, определить раствор главных контактов, измерив расстояние между контактами; при отключенном положении пускателя он должен быть равным не менее 3 мм.

4. Определить провал главных контактов при включенном пускателе, он должен соответствовать полному включению пускателя.

5. Определить неодновременность касания главных контактов, для чего плавно переместить контактную траверсу до замыкания какой-либо пары контактов. Дальнейшее продвижение траверсы прекратить. Неодновременность касания контактов должна быть не более 0,5 мм.

6. Проверить наружным осмотром соответствие электрических соединений схемы блок контактов.

Дефектация контактных систем

При ремонте и техническом обслуживании электрических аппаратов большая часть времени уходит на контактную систему, так как эта часть аппарата подвержена интенсивному износу.

К дефектации аппаратуры относится такая операция, как измерение сопротивления контактной системы.

На величину сопротивления контактов влияют факторы:

- 1) материал контактов;
- 2) площадь соприкосновения контактов;
- 3) степень окисления контактной поверхности;
- 4) усилие сжатия контактов.

К свойствам материала, из которого изготавливают контакты, предъявляют следующие требования:

- плохая окисляемость;
- малое удельное сопротивление;
- относительно высокая температура плавления, то есть устойчивость к эрозии, разрушению поверхностей контакта электрической дугой.

Контакты в электрических аппаратах изготавливаются в основном из технического серебра (к нему относится серебро до 400 пробы), а также ряда различных сплавов, обеспечивающих слабое окисление и относительно малое удельное сопротивление. В некоторых случаях допускается использовать и медь марки ТМ.

При размыкании контакты изнашиваются за счет наличия электрической дуги, особенно в аппаратах коммутирующих цепь с большим током, а также с постоянным током.

Замыкание контактов в плохом их состоянии (наличие подгара, эрозии) приводит к сокращению площади соприкосновения контактов, что вызывает на данном участке большую плотность тока, который сильно разогревает контакт, что может привести к расплавлению.

лению области соприкосновения, а, следовательно, к несрабатыванию аппарата (рис. 6.3).

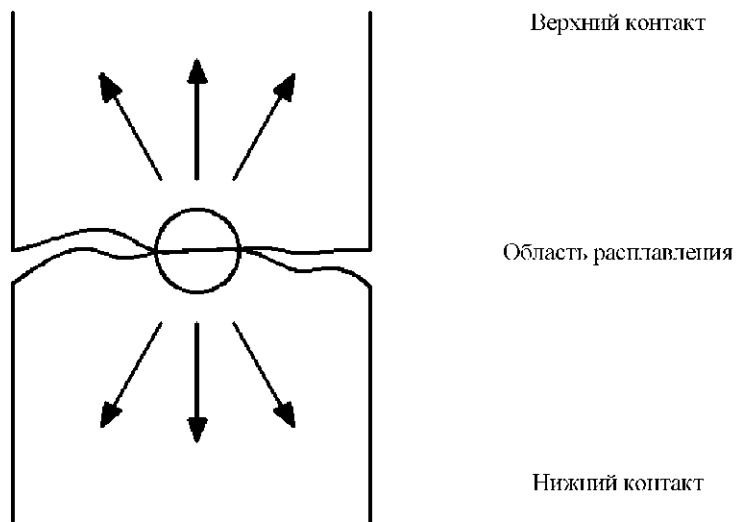


Рис. 6.3. Соприкосновение сильно эродированных контактов

Согласно ППРЭСх при контроле контактных соединений пускозащитных аппаратов измеряют падение напряжения при прохождении через контакты постоянного тока от источника питания с напряжением 2–5 В. Потери напряжения ($\Delta U_{\text{доп}}$) на контактах не должны превышать следующих значений:

- у магнитных пускателей и автоматических выключателей при номинальном токе выше 50 А – 70 мВ;
- у автоматических выключателей с номинальным током менее 50 А – 110 мВ;
- у аппаратов со скользящими контактами (рубильники, пакетные выключатели) – 10–20 мВ.

Потери напряжения на контактах магнитных пускателей 5-го и 6-го габаритов и автоматических выключателей с номинальными токами не превышающими 220 А измеряют при пропускании через контакты тока, составляющего не менее 20 % от номинального.

Для исследования контактных систем аппаратов (их состояния), приведенных на стенде, собрать схему согласно рис. 6.4. При помощи автотрансформатора $TV1$ установить номинальный ток, согласно испытываемому аппарату, затем измерить милливольтметром падение напряжения на контактах (ΔU). (Замер милливольтметром производить при наличии замкнутой цепи, в противном случае прибор выйдет из строя. Без проверки преподавателем схему не включать!)

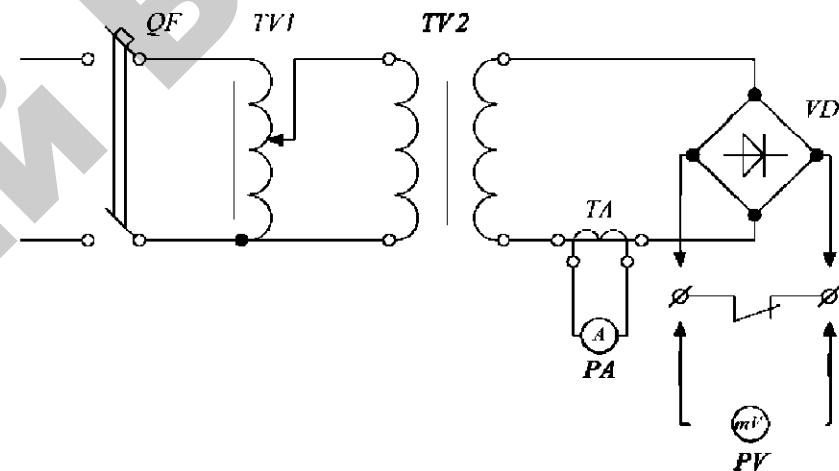


Рис. 6.4. Экспериментальная схема для исследования контактных систем

Величину сопротивления определить согласно закону Ома:

$$R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (6.1)$$

где U – напряжение, В;

I – сила тока, А.

Данные эксперимента и полученный результат занести в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Данные эксперимента

Тип оборудования	$I_{н\Lambda}$	№ клемм	ΔU_i	$\Delta U_{доп}$	$R_{Ом}$	Состояние контактной системы
АП-50-3МЗТ	40	1-2				
АП50-3Т	16	1-2				
		1-3				
АЕ-37	160	1-2				
ЯРП-20	20	1-2				
ПМЛ-211	25	1-2				
ПВМ2-100	100	1-2				
ПВ-25	25	1-2				

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения о существующих отечественных аппаратах защиты и управления.
3. Требования, предъявляемые к контактным соединениям аппаратов защиты и управления.
4. Требования к материалам, из которых изготавливаются контактные соединения.
5. Схема эксперимента и экспериментальные данные.
6. Вывод по итогам эксперимента и работе в целом.

Контрольные вопросы:

1. Что называется электрическим аппаратом?
2. Для чего предназначен рубильник?
3. Назовите основные неисправности рубильников.
4. Для чего служат автоматические выключатели?
5. Назовите последовательность разборки автоматических выключателей и магнитных пускателей.
6. Как производится дефектация автоматических выключателей и магнитных пускателей?
7. Для чего служит магнитный пускатель?
8. Как производится ремонт аппаратов низкого напряжения?

9. Перечислите последовательность сборки аппаратов низкого напряжения.

10. Что влияет на величину сопротивления контактов?

11. Какие требования предъявляются к свойствам материалов, из которых изготавливаются контакты?

12. Объясните процесс износа контактов.

13. Как определить сопротивление контактов?

14. Из каких материалов изготавливаются контакты?

Раздел II

ИЗОЛИРОВОЧНО-ОБМОТОЧНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 7

СХЕМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить методику расчетов обмоточных данных и принципы построения однослойных статорных обмоток трехфазных машин переменного тока.

Студент должен знать: достоинства и недостатки видов статорных обмоток, их основные обмоточные данные;

уметь: рассчитывать основные обмоточные данные для однослойных статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в соответствии с требованиями потребителя и выполнять обмотку статора по полученным данным.

Общие сведения

Статорные обмотки машин переменного тока, как и все основные типы обмоток постоянного тока, представляют собой определенное число проводников, расположенных в магнитопроводе. По способу соединения проводников в катушечные группы обмотки подразделяются на петлевые и концентрические. Отличие статорных обмоток машин переменного тока от обмоток машин постоянного тока является то, что они выполняются разомкнутыми, выполненными из отдельных частей (фаз), которые

между собой соединяются с помощью дополнительных проводов «звездой» или «треугольником». Однослойные обмотки выполняются таким образом, что одна активная сторона секции одной и той же катушечной группы занимает весь паз (нет наличия межслоевой изоляции), отсюда и название – однослойная обмотка.

Однослойные обмотки выполняются главным образом петлевыми, простыми шаблонными, шаблонными «вразвалку», цепными, концентрическими. К достоинствам однослойных обмоток относят следующее:

- отсутствие межслоевой изоляции, что повышает коэффициент заполнения пазов, а, следовательно, ток и мощность двигателя;
- простота изготовления;
- большая возможность применения автоматизации при укладке обмоток.

Недостатками однослойных обмоток являются:

- повышенный расход проводникового материала;
- сложность укорочения шага, что не позволяет компенсировать высшие гармоники магнитного поля; ограниченные возможности построения обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу;
- более трудоемкое изготовление и монтаж катушек для крупных электродвигателей высокого напряжения;

Расчетными обмоточными данными для однослойных обмоток, как и для всех статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей, являются следующие величины:

N – число катушечных групп;

y – шаг обмотки;

q – число пазов на полюс и фазу (равно числу секций в катушечной группе);

α – число электрических градусов, приходящихся на один паз;

a – число параллельных ветвей.

Шаг обмотки (y') – это расстояние, выраженное числом зубцов, между активными сторонами одной и той же секции. Требуется для укладки секций в пазы магнитопровода АД

$$y' = \frac{z}{2p} \pm c, \quad (7.1)$$

где y' – расчетный шаг (равен полюсному делению, выраженному в зубцах);

z – число пазов магнитопровода;

P – число пар полюсов;

ϵ – произвольное число меньше 1, доводящее расчетный шаг (ν') до целого числа.

Количество пар полюсов связано с частотой тока (f) и частотой вращения магнитного поля в расточке статора (n) соотношением:

$$f = \frac{Pn}{60}, \quad (7.2)$$

Отсюда, при $f = 50$ Гц

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{n} = \frac{3000}{n}, \quad (7.3)$$

где n – синхронная частота вращения магнитного поля статора, мин⁻¹.

Число катушечных групп. Так как в витке ток в активных проводниках направлен встречно, каждая фазная катушка участвует в создании пары полюсов. Следовательно, между числом катушечных групп и числом пар полюсов имеется жесткая связь и для однослойной обмотки:

$$N_{1\Phi}^{(1)} = P, \quad (7.4)$$

где $N_{1\Phi}^{(1)}$ – число катушечных групп в одной фазе однослойной обмотки, шт.

Так как каждую пару полюсов создают все три фазы переменного тока, то число катушечных приходящихся на всю обмотку, определяется по выражению:

$$N_{3\Phi}^{(1)} = Pm, \quad (7.5)$$

Число пазов на полюс и фазу (q). Также это число определяет сколько секций приходится на одну катушечную группу:

$$q = \frac{z}{2Pm}, \text{ шт.}, \quad (7.6)$$

где m – число фаз.

При $q = 1$ в полюсе статора на одну фазу приходится только один паз. Следовательно, катушка этой фазы не может быть разделена на секции. Такая обмотка называется сосредоточенной.

При $q > 1$ обмотка называется рассредоточенной. У нее фазные катушки разделены на секции, число которых равно q .

Число электрических градусов на один паз (α). В расточке статора асинхронного двигателя распределение магнитного потока под одной парой полюсов подчиняется синусоидальному закону, то есть по краям полюсов магнитных силовых линий нет. При приближении к центру число их плавно возрастает и в центре полюса достигает максимума (рис. 7.1.).

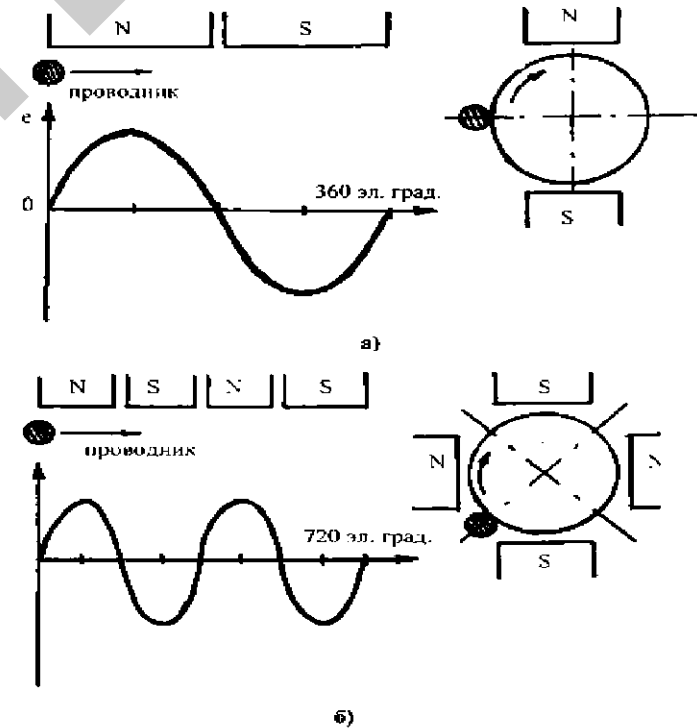


Рис. 7.1. Число электрических градусов в расточке статора электромашины в зависимости от числа пар полюсов: а) – при одной паре; б) – при двух парах

Это показывает изменение ЭДС (E) в проводнике, если его про-
вести (или сделать один оборот ротора) под одной парой полюсов.

Известно, что $E = BIV$,

где B – магнитная индукция;

l – длина проводника;

V – скорость его движения.

Отсюда, при постоянных l и V изменение величины E зависит
только от изменения величины B (рис. 7.1а).

При перемещении происходит полный цикл изменения вели-
чины E в проводнике. Следовательно, также меняется и магнитный
поток и индукция B . Синусоида составляет 360 градусов. Значит, на
одну пару полюсов приходится 360 электрических градусов.

При движении проводника под двумя парами полюсов (за один
оборот) (рис. 7.1б) ЭДС изменится два раза по 360 электрических
градусов ($360 \cdot 2 = 720$ эл. гр.), то есть в любой машине число
электрических градусов в расточке статора можно определить по
формуле:

$$\alpha = 360P. \quad (7.7)$$

Если магнитопровод имеет число пазов равное z , то число элек-
трических градусов, приходящихся на один паз (угловой сдвиг ме-
жду рядом лежащими пазами) равен:

$$\alpha = \frac{360P}{z}. \quad (7.8)$$

Число параллельных ветвей (a). Параллельные ветви в обмотке
асинхронного двигателя делаются для сокращения сечения обмо-
точного провода. Кроме того, это даст возможность лучше загру-
зить магнитную систему машины.

Все катушечные группы обмотки одной фазы могут быть со-
единены последовательно, как это показано на рис. 7.2. В этом
случае число параллельных ветвей равно 1 ($a = 1$); буквами Н, К
и цифрами обозначены соответственно начала и концы фазных
катушечных групп.

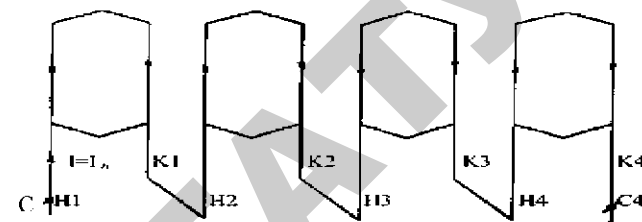


Рис. 7.2. Катушечные группы, включенные в одну параллельную ветвь, $a = 1$:
 $H1, H2, H3, H4$ – начала фазных катушечных групп; $K1, K2, K3, K4$ – концы
фазных катушечных групп; $C1-C4$ – выводы фазы.

При параллельном включении катушечных групп максимальное
число параллельных ветвей равняется числу фазных катушек в об-
мотке одной фазы $N_{1ф}$. Например, $a = 4$ (рис. 7.3а).

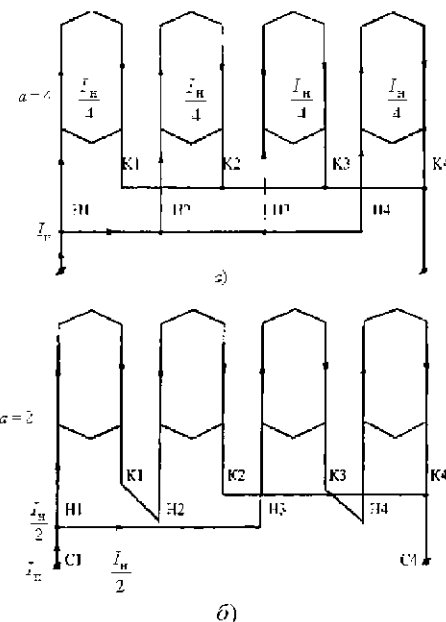


Рис. 7.3. Катушечные группы обмотки одной фазы, включенные:
а) – в четыре параллельных ветви ($a = 4$); б) – в две параллельных ветви ($a = 2$)

Можно катушечные группы обмотки одной фазы соединить и
комбинированно (часть последовательно и часть параллельно), но

при этом в любом случае число катушечных групп в каждой параллельной ветви должно быть строго одинаковым, $a = 2$ (рис. 7.3б).

Решение о рациональном числе параллельных ветвей принимается только после разделения обмоточного провода на параллельные сечения a' . Число параллельных сечений (то есть взятых для изготовления секций обмоточных проводов) в сумме по площади должно быть равно расчетной площади.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с основными понятиями, определениями и элементами обмоток электрических машин.
2. Определить обмоточные данные для обмотки статора асинхронного двигателя по заданию преподавателя.
3. Вычертить развернутую схему однослойной статорной обмотки для заданной электрической машины.
4. Выполнить соединения катушечных групп обмотки статора асинхронного двигателя при числе параллельных ветвей, заданных преподавателем.
5. Проверить правильность сделанных расчетов, построений и соединений, убедиться в наличии вращающегося магнитного поля в расточке статора асинхронного двигателя.
6. Ознакомиться с разновидностями обмоток, приведенных на стенде лабораторной работы.

Построение однослойной статорной обмотки

Рассмотрим принцип выполнения статорной обмотки односкоростного асинхронного двигателя, на примере схемы распределенной, однослойной обмотки с одинаковыми катушками, полным шагом при целом числе пазов на полюс и фазу.

Технические требования заказчика:

частота вращения магнитного поля статора $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, частота питающей сети $f = 50 \text{ Гц}$; $z = 24$; $m = 3$.

1. Определяем число пар полюсов по формуле (7.3):

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

2. Находим шаг обмотки (секции) по формуле (7.1):

$$y' = \frac{z}{2P} \pm \epsilon = \frac{24}{2 \cdot 2} = 6.$$

Первую активную сторону секции укладываем в первый паз (рис. 7.4) при $y = y'$ вторую активную сторону секции помещаем через шесть зубцов в седьмой паз (рис. 7.5), то есть $y + 1 = 6 + 1 = 7$.

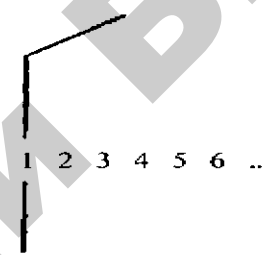


Рис. 7.4. Размещение первой активной стороны секции в магнитопроводе

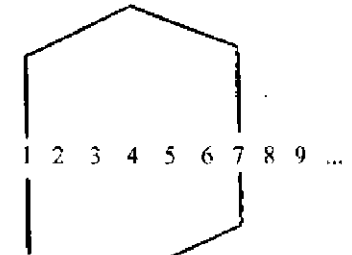


Рис. 7.5. Размещение второй активной стороны секции в магнитопроводе

- 3) определяем число пазов на полюс и фазу по формуле (7.6):

$$q = \frac{z}{2Pm} = \frac{24}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 2.$$

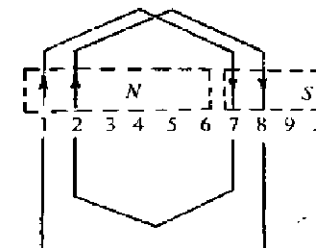


Рис. 7.6. Размещение в магнитопроводе первой катушечной группы обмотки

Отсюда одна катушечная группа имеет две секции, тогда вторая секция занимает соответственно пазы 2 и 8 (рис. 7.6).

3. Число катушечных групп в однослойной обмотке одной фазы определим по формуле (7.4):

$$N_{1\Phi}^{(1)} = P = 2.$$

В однослойной обмотке первая катушечная группа участвует в создании первой пары полюсов (рис. 7.6). Вторая должна создавать вторую пару полюсов. Следовательно, расстояние между ними должно быть равно одной паре полюсов, то есть 360 электрических градусов.

Отсюда, сдвиг между катушечными группами одной фазы в пазках:

$$A = \frac{360}{\alpha},$$

где α – число электрических градусов приходящихся на 1 паз, определяем по выражению (7.8):

$$\alpha = \frac{360P}{z} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30 \text{ эл. гр.}$$

Следовательно:

$$A = \frac{360}{\alpha} = \frac{360}{30} = 12 \text{ пазов.}$$

Значит, вторая катушечная группа фазы А начинается с 13-го пазка (рис. 7.7).

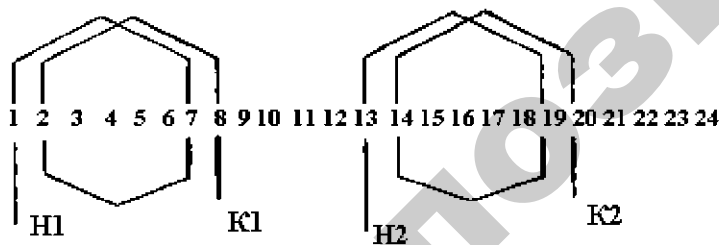


Рис. 7.7. Размещение катушечных групп обмотки одной фазы

Рассмотрим методику соединения уложенных катушечных групп фазы А.

Вначале необходимо принять число параллельных ветвей a , которое уточняется после расчета площади поперечного сечения обмоточного провода P_p . В предварительном расчете число параллельных ветвей можно брать произвольно. Их максимальное количество допустимо брать равным числу катушечных групп в одной фазе – $N_{1\Phi}^{(1)}$. Пока не определено P_p , рационально принимать $a = 1$.

Затем необходимо показать направления токов в активных проводниках катушек, исходя из требуемого чередования полюсов.

Если в машине 4 полюса (рис. 7.8), то по направлению тока их можно соединить только – конец первой катушечной группы с началом второй, что является законом для однослойных обмоток.

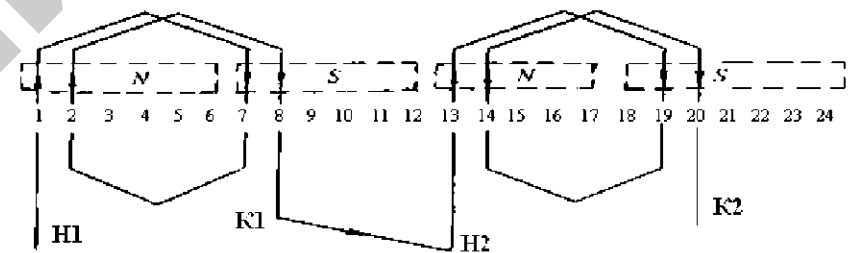


Рис. 7.8. Направление токов в активных сторонах секций уложенных катушечных групп обмотки одной фазы и их соединение

Обмотки фаз В и С выполняются аналогично, но, согласно условию получения вращающегося магнитного поля в расточке статора, они должны быть сдвинуты соответственно на 120 и 240.

$$B = \frac{120}{\alpha} = \frac{120}{30} = 4,$$

$$C = \frac{240}{\alpha} = \frac{240}{30} = 8.$$

Таким образом, обмотки фаз В и С начинаются соответственно в 5-м и 9-м пазках. Укладка катушечных групп обмоток этих фаз аналогична обмотке фазы А. В результате, как видно из рис. 7.9, получаем обмотку асинхронного двигателя при $a = 1$, рис.7.10 – при $a = 2$.

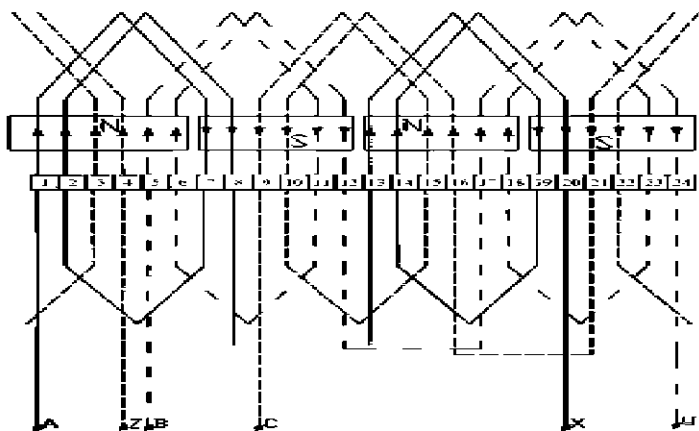


Рис. 7.9. Развернутая схема однослойной статорной обмотки:

при $N_{3\phi}^{(1)} = 6; \gamma = 6; q = 2; \alpha = 30$ эл. гр.; $a = 1$

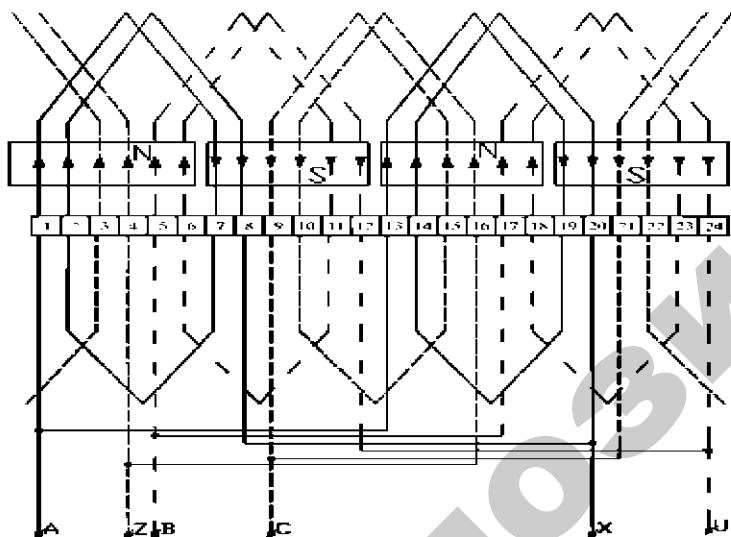


Рис. 7.10. Развернутая схема однослойной статорной обмотки с положением полюсов, соответствующим моменту времени t_1 при $a = 2$

Расположение полюсов зависит от направления токов в активных проводниках обмоток в момент времени t , равному $\frac{1}{3} T$.

Оно берется произвольно (рис. 7.9; 7.10, $t = t_1$). Для принятого момента t_1 на развертке $I = f(t)$ (рис. 7.11а) соответствует векторная диаграмма токов (рис. 7.11б). Из последней следует, что в момент t_1 токи в обмотках фаз А и В текут в одном направлении, а в обмотке фазы С – в противоположном, причем сумма первых ($I_a - I_b$) равна I_c (1-й закон Кирхгофа).

Расстановка токов в активных проводниках по пазам расточки статора на схеме (рис. 7.9, 7.10) в соответствии с векторной диаграммой, указанной на рис. 7.11б ($a = 1$) дает возможность найти положение полюсов для принятого момента времени.

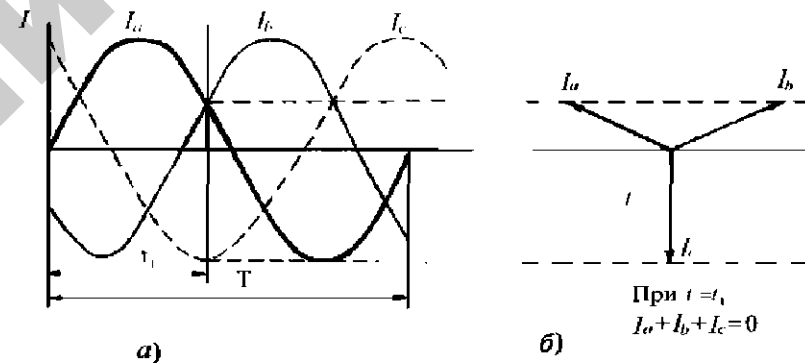


Рис. 7.11. Развертка зависимости токов от времени $I = f(t)$ (а) и векторная диаграмма токов для момента времени t_1 (б)

Содержание отчета:

1. Данные обследования магнитопровода, статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Расчет обмоточных данных однослойной статорной обмотки по заданию преподавателя.
3. Развернутая схема однослойной петлевой статорной обмотки с векторной диаграммой фазных токов в принятый момент времени и положением полюсов в расточке статора электрической машины.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные обмоточные данные. Как они определяются? Какие данные требуются для их расчета?
2. Какие принципы заложены в построение схем статорных обмоток трехфазных асинхронных двигателей для получения вращающего магнитного поля в расточке статора?
3. Назовите достоинства и недостатки однослойных статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Лабораторная работа № 8

СХЕМЫ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Цель работы: изучить методику расчетов обмоточных данных и принципы построения концентрических обмоток трехфазных машин переменного тока.

Студент должен знать: достоинства и недостатки видов статорных обмоток, их основные обмоточные данные;

уметь: рассчитывать основные обмоточные данные для концентрических статорных обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в соответствии с требованиями потребителя и выполнять обмотку статора по полученным данным.

Общие сведения

Концентрическими называют обмотку с размещением секций (катушек) одна внутри другой и расположением лобовых частей в двух или трех плоскостях. Такие обмотки выполняются обычно вразвалку. Могут быть как однослойные, так и двухслойные.

Как было указано в работе № 7, в однослойных обмотках на каждую пару полюсов и фазу приходится по одной катушечной группе. То есть в общем случае обмотка имеет $3P$ катушечных групп. Если P равно четному числу, то обмотка будет иметь четное число катушечных групп. В этом случае расположение можно расположить лобовые части половины катушечных групп в одной плоскости, а второй половины – в другой (рис. 8.1).

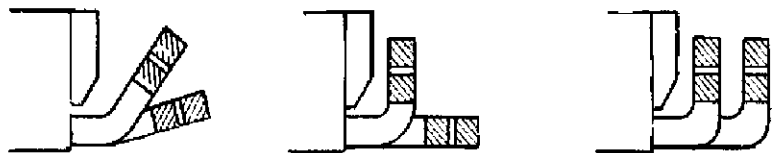


Рис. 8.1. Расположение лобовых частей катушек концентрических обмоток при $q = 2$

Если P равно нечетному числу, то обмотка будет иметь нечетное число катушечных групп. В этом случае лобовые части катушек одной фазы располагаются в одной плоскости, а лобовые части катушек трех фаз – в трех плоскостях (рис. 8.2).

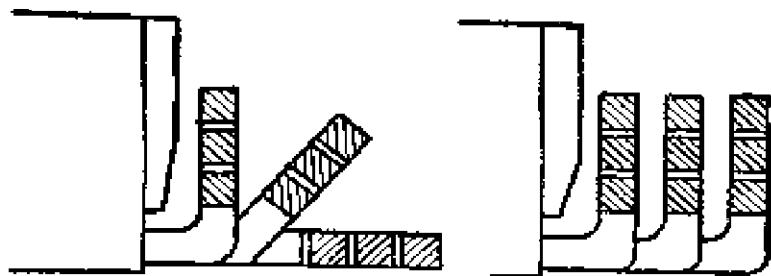


Рис. 8.2. Расположение лобовых частей катушек трехплоскостных концентрических обмоток при $q = 3$

Такие обмотки носят название трехплоскостных концентрических обмоток или концентрических обмоток «вразвалку».

Порядок выполнения работы:

1. Определить обмоточные данные для однослойной концентрической обмотки статора асинхронного двигателя по заданию преподавателя.

2. Вычертить развернутую схему концентрической однослойной статорной обмотки для заданной электрической машины.

3. Проверить правильность сделанных расчетов, построений и соединений, убедиться в наличии вращающегося магнитного поля в расточке статора АД.

Построение схемы однослойной концентрической обмотки

Рассмотрим принцип выполнения концентрической статорной обмотки односкоростного асинхронного электродвигателя на примере концентрической, однослойной обмотки с одинаковыми катушками, полным шагом при целом числе пазов на полюс и фазу.

Технические требования заказчика:

частота вращения магнитного поля статора $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, частота питающей сети $f = 50 \text{ Гц}$; $z = 24$; $m = 3$.

1. Определяем число пар полюсов по формуле (7.3.):

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

2. Определяем число пазов на полюс и фазу по формуле (7.6):

$$q = \frac{z}{2Pm} = \frac{24}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 2.$$

3. Расчетный шаг обмотки (секции) по формуле (7.1):

$$y' = \frac{z}{2P} \pm \epsilon = \frac{24}{2 \cdot 2} = 6.$$

Шаг первой секции катушки можно определить по выражению:

$$y_1 = 4q - 1. \quad (8.1)$$

Подставив полученное значение для q по формуле (7.6), получим шаг y_1 равным: $y_1 = 4 \cdot 2 - 1 = 7$.

Тогда шаг второй секции этой же катушечной группы будет на 2 меньше, так как одна секция занимает два паза, то есть, $y_2 = y_1 - 2 = 7 - 2 = 5$.

После определения шага каждой секции, в зависимости от числа q , необходимо выполнить проверку, подтверждающую правильность расчета по формуле (8.2):

$$\frac{y_1 + \dots + y_q}{q} = y'. \quad (8.2)$$

При построении схемы обмотки первой фазы может начинаться с любого пазы. В нашем случае первую активную сторону секции помещаем в первый паз (рис. 8.3).

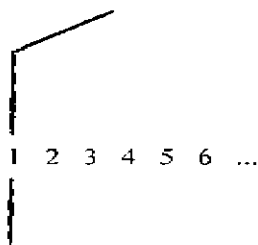


Рис. 8.3. Размещение первой активной стороны секции в магнитопроводе

Следовательно, вторую активную сторону секции помещаем через семь зубцов, в восьмой паз (рис. 8.4). Одна катушечная группа имеет две секции, тогда вторая секция занимает соответственно пазы 2 и 7 (рис. 8.5).

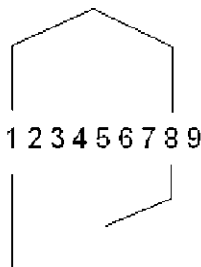


Рис. 8.4. Размещение второй активной стороны обмотки секции в магнитопроводе

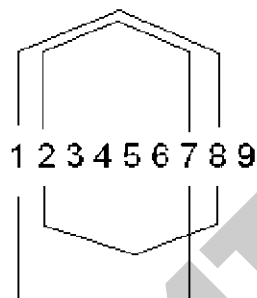


Рис. 8.5. Размещение в магнитопроводе первой катушечной группы

4. Число катушечных групп в однослойной обмотке одной фазы определим по формуле (7.4):

$$N_{1\Phi}^{(1)} = P = 2.$$

В однослойной обмотке первая катушечная группа участвует в создании первой пары полюсов (рис. 8.6), вторая должна создавать

вторую пару полюсов. Следовательно, расстояние между ними должно быть равно одной паре полюсов, то есть 360 эл. гр.

Отсюда сдвиг между катушечными группами одной фазы в пазы:

$$A = B = C = \frac{360}{\alpha},$$

где α – число электрических градусов на 1 паз.

По формуле (7.8)

$$\alpha = \frac{360P}{z} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30 \text{ эл. гр.}$$

Тогда

$$A = \frac{360}{\alpha} = \frac{360}{30} = 12 \text{ пазов.}$$

Значит, вторая катушечная группа фазы А начинается с 13-го пазы (рис. 8.6).

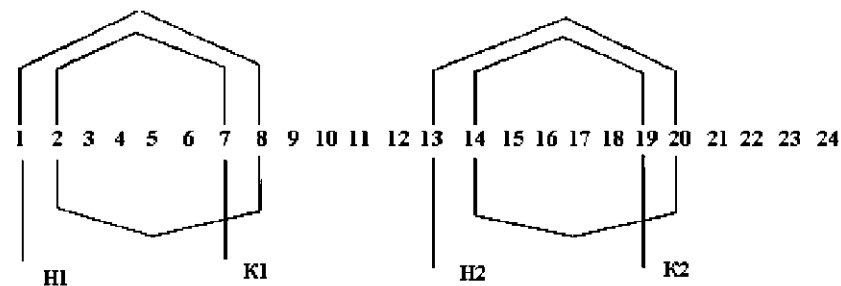


Рис. 8.6. Размещение катушечных групп обмотки одной фазы

5. Соединение катушечных группы одной фазы между собой производится следующим образом. Вначале необходимо принять число параллельных ветвей a , которое уточняется после расчета поперечного сечения обмоточного провода Π_p . В предварительном расчете число параллельных ветвей можно брать произвольно. Их максимальное количество, как указывалось, допустимо брать

равным числу катушечных групп в одной фазе – $N_{1\Phi}^{(1)}$. Однако, пока не определено P_p , рационально принимать $a = 1$.

Затем необходимо показать направления токов в активных проводниках катушек, исходя из требуемого чередования полюсов.

Если в машине 4 полюса ($n = 1500 \text{ мин}^{-1}$), то по направлению тока их можно соединить только таким образом – конц первой катушечной группы с началом второй, что является законом для однослойных обмоток (рис. 8.7).

Обмотки фаз В и С выполняются аналогично. Согласно условию получения вращающегося магнитного поля в расточке статора, они сдвинуты соответственно на 120 и 240 электрических градусов. Значит фаза В будет смещена на 4 паза, фаза С – на 8:

$$B \rightarrow \frac{120}{\alpha} = \frac{120}{30} = 4, \quad C \rightarrow \frac{240}{\alpha} = \frac{240}{30} = 8.$$

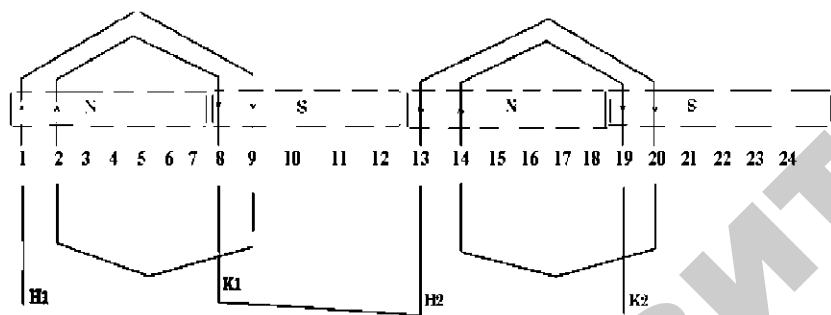


Рис. 8.7. Направление токов в активных сторонах секций уложенных катушечных групп обмотки одной фазы и их соединение

Укладка катушечных групп обмоток фаз В и С аналогична обмотке фазы А. В результате получаем обмотку асинхронного двигателя (рис. 8.8).

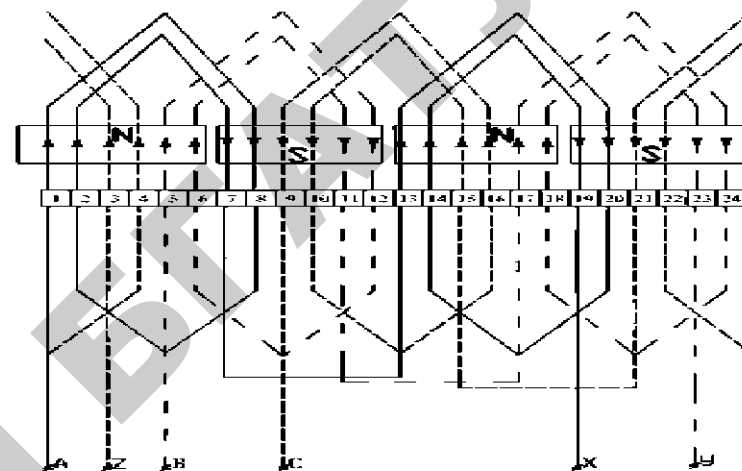


Рис. 8.8. Развернутая схема однослойной концентрической статорной обмотки при $N_{3\Phi}^{(1)} = 6$; $y' = 6$; $q = 2$; $\alpha = 30$ эл. гр.; $a = 1$

Содержание отчета:

1. Данные обследования магнитопровода, статора асинхронного двигателя.
2. Расчет обмоточных данных.
3. Развернутая схема однослойной концентрической обмотки с векторной диаграммой фазных токов в принятый момент времени и положением полюсов в расточке статора электрической машины.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как выполняются концентрические статорные обмотки?
2. В чем принципиальное отличие расчета обмоточных данных для концентрических статорных обмоток?
3. Какие принципы заложены в построение схем обмоток трехфазных асинхронных двигателей для получения вращающегося магнитного поля в расточке статора трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?

Лабораторная работа № 9

СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Цель работы: изучить методику расчетов обмоточных данных и принципы двухслойных статорных обмоток трехфазных машин переменного тока.

Студент должен знать: достоинства и недостатки видов статорных обмоток, их основные обмоточные данные;

уметь: рассчитывать основные обмоточные данные для двухслойных статорных обмоток (с укороченным шагом) трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в соответствии с требованиями потребителя, выполнять обмотку статора по полученным данным.

Общие сведения

В настоящее время из всех обмоток машин переменного тока двухслойные обмотки получили наибольшее распространение. Как правило, они выполняются петлевыми или цепными. У двухслойных обмоток активная сторона одной секции занимает половину пазы, отсюда и название обмотки.

К достоинствам двухслойных обмоток относят следующее:

- возможность любого укорочения шага;
- снижение расхода обмоточного провода за счет уменьшения длины лобовой части секций;
- уменьшение высших гармонических составляющих магнитного потока, то есть снизить потери в магнитопроводе двигателя;
- простота технологического процесса изготовления катушек (многие операции можно механизировать);

– возможность выполнения обмотки почти с любой дробностью q , что обеспечивает изготовление обмотки при ремонте асинхронных двигателей с изменением частоты вращения ротора. Кроме того, это является одним из способов приближения формы поля к синусоиде;

– возможность образования большого числа параллельных ветвей.

Недостатками двухслойных обмоток являются:

- меньший коэффициент заполнения пазы (вследствие наличия межслойной изоляции);
- некоторая сложность при укладке последних секций обмотки;
- необходимость поднимать целый шаг обмотки при повреждении нижней стороны секции.

При построении двухслойной обмотки необходимо учитывать, что они выполняются только с укороченным шагом. Это приводит к тому, что на границах полюсов в секциях разных фаз, лежащих в одном пазу, направление токов будет встречное. Следовательно, суммарный магнитный поток от этих секций будет равен нулю, что уменьшает общий магнитный поток Φ . Это явление учитывается коэффициентом укорочения шага, который рекомендуется брать равным 0,8 (как наиболее рациональный). При этом значении обеспечивается подавление высших гармоник магнитного потока, искажающих его синусоидальную форму.

Шаг обмотки с учетом коэффициента укорочения шага:

$$y = (y' \cdot 0,8) \quad (9.1)$$

На практике принято шаг определять в пазах, поэтому при раскладке вторая сторона секции ложится в паз $y + 1$.

В двухслойных обмотках число катушечных групп увеличивается в два раза, поэтому в каждой секции число витков будет в два раза меньше, а число катушечных групп в два раза больше. Следовательно,

$$N_{1\Phi}^{(2)} = 2P, \quad (9.2)$$

где $N_{1\Phi}^{(2)}$ – число катушечных групп в одной фазе двухслойной обмотки.

На три фазы:

$$N_{3\Phi}^{(2)} = 2Pm \quad (9.3)$$

Порядок выполнения работы:

1. По заданию преподавателя рассчитать обмоточные данные для двухслойной статорной обмотки по формулам (7.1), (7.6), (7.8), (9.1), (9.2), (9.3).

2. Начертить развертку магнитопровода статора асинхронного двигателя, пронумеровать пазы.

3. Уложить в пазы катушечные группы обмотки одной фазы. Показать направление токов в их активных проводниках, отвечающее требуемому чередованию полюсов и выполнить соединение этих фазных катушек.

4. Аналогично уложить в пазы катушечные группы обмоток двух оставшихся фаз и провести их фазное соединение.

5. Выполнить соединения катушечных групп обмотки статора асинхронного двигателя при числе параллельных ветвей, заданных преподавателем.

6. Принять момент времени (t) протекания токов по фазам и начертить векторную диаграмму токов, отвечающую этому моменту. Показать на развернутой схеме протекание этих токов по активным проводникам обмоток и положение полюсов.

7. Проверить правильность сделанных расчетов, построений и соединений, убедиться в наличии вращающегося магнитного поля в расточке статора асинхронного двигателя.

Построение двухслойной статорной обмотки

Рассмотрим построение двухслойной статорной обмотки по следующим условиям: частота вращения магнитного поля статора $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, частота питающей сети $f = 50 \text{ Гц}$; $z = 24$; $m = 3$.

Исходя из указанных условий, определяем обмоточные данные:

– число пар полюсов по формуле (7.3):

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

– полный диаметальный шаг обмотки находим по выражению (7.1):

$$y' = \frac{z}{2P} \pm \varepsilon = \frac{24}{2 \cdot 2} = 6,$$

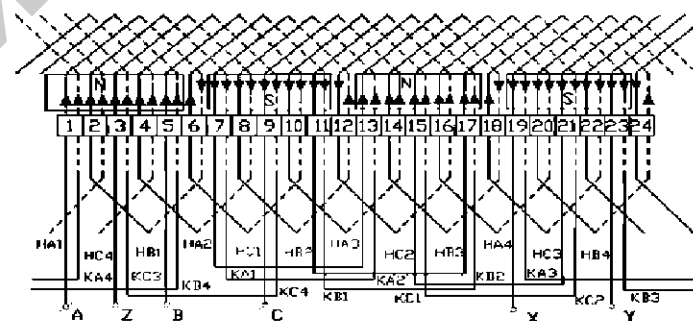
с учетом коэффициента укорочения, по (9.1): $y = (y' \cdot 0,8) = 6 \cdot 0,8 = 4,8$.

Принимаем $y = 5$;

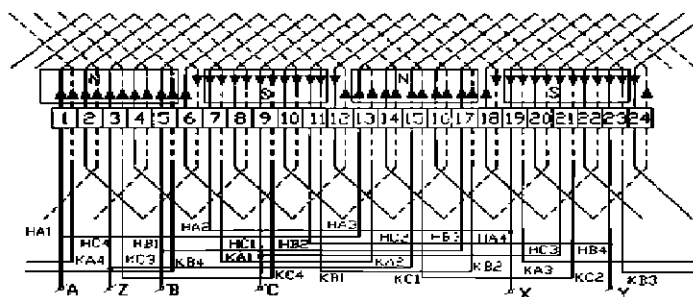
– число катушечных групп на одну фазу определяем по формуле (9.2):

$$N_{1\Phi}^{(2)} = 2P = 4.$$

Кроме того, у одной и той же фазы они сдвигаются не на 360 эл. гр. (как в однослойных обмотках), а на 180 эл. гр. Соединяются они между собой так: конец предыдущей катушечной группы с концом последующей, а начало – с началом (это требует направление токов) (рис. 9.1а, б);



а)



б)

Рис. 9.1. Развернутая схема двухслойной статорной обмотки:

а) при $N_{3\Phi}^{(2)} = 12$; $y = 5$; $q = 2$; $\alpha = 30^\circ$; $a = 1$; б) при $N_{3\Phi}^{(2)} = 12$;
 $y = 5$; $q = 2$; $\alpha = 30^\circ$; $a = 2$

– общее число катушечных групп в обмотке (9.3):

$$N_{3\Phi}^{(2)} = 2Pm = 12;$$

– число пазов на полюс и фазу (7.6):

$$q = \frac{z}{2Pm} = \frac{24}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 2;$$

– число электрических градусов, приходящихся на один паз (7.8):

$$\alpha = \frac{360P}{z} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30 \text{ эл. гр.};$$

– число параллельных ветвей a принимаем равным 1.

Содержание отчета:

1. Данные обследования магнитопровода, статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Расчет обмоточных данных двухслойной статорной обмотки с укороченным шагом (по заданию преподавателя).
3. Развернутая схема двухслойной петлевой статорной обмотки с векторной диаграммой фазных токов в принятый момент времени и положением полюсов в расточке статора электрической машины.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные элементы статорных обмоток асинхронных двигателей и дайте их определение.
2. Назовите основные обмоточные данные. Как они определяются?
3. Какие принципы заложены в построение схем обмоток трехфазных асинхронных двигателей для получения вращающего магнитного поля в расточке статора?

Лабораторная работа № 10

СТАТОРНЫЕ ОБМОТКИ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Цель работы: изучить методику расчетов обмоточных данных и принципы построения статорных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Студент должен знать: достоинства и недостатки видов статорных обмоток, их основные обмоточные данные;

уметь: рассчитывать основные обмоточные данные для статорных обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в соответствии с требованиями потребителя, выполнять обмотку статора по полученным данным.

Общие сведения

Число пазов на полюс и фазу q не всегда бывает целым числом. Часто встречаются обмотки, у которых число пазов на полюс и фазу выражается дробным числом. В асинхронных двигателях дробное число пазов на полюс и фазу обычно получают в тех случаях, когда один и тот же статор обматывают на разное число полюсов. Тогда при одном и том же числе пазов статора число пазов на полюс и фазу для одной обмотки получается целым, а для другой – дробным. Например:

статор с $z = 36$ обматывают на 6 полюсов. Двигатель имеет $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ и число пазов на полюс и фазу (7.6):

$$q = \frac{z}{2Pm} = \frac{36}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 2.$$

Если этот же двигатель требуется перемотать на меньшее число оборотов $n = 750 \text{ мин}^{-1}$, то есть на 8 полюсов, то число пазов на полюс и фазу будет (7.6):

$$q = \frac{36}{2 \cdot 4 \cdot 3} = 1\frac{1}{2}.$$

В синхронных генераторах, когда число пазов на полюс и фазу меньше 4, его умышленно делают дробным при проектировании машины; этим улучшают ее электрические характеристики.

Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе q обмотку приходится комбинировать из катушечных групп, состоящих из неодинакового числа секций. При этом в каждой фазе должно быть одинаковое число пазов, иначе обмотка получится несимметричной.

Обычно обмотку комбинируют из двух типов катушечных групп. Причем в одной группе число катушек равно целой части числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, а в другой – на одну больше.

Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2\frac{1}{2}$, то обмотку составляют из чередующихся катушечных групп, имеющих по две и три секции. Причем после каждой группы из двух катушек следует группа из трех катушек.

Такое простое сочетание катушечных групп получают только в том случае, когда дробная часть числа, выражающего число пазов на полюс и фазу, равна $\frac{1}{2}$. При других дробях комбинирование катушечных групп более сложное.

Часто дробное сочетание выражают в виде неправильной дроби $q = \frac{c}{d}$. Для данного примера $c = 5$; $d = 2$.

Для получения симметрии обмотки необходимо, чтобы $\frac{z}{tm}$ рав-

нялось целому числу, где z – число пазов; t – наибольший общий делитель для z и P ; m – число фаз.

Это условие является достаточным для двухслойной обмотки.

Для однослойной обмотки, кроме того, необходимо, чтобы $\frac{z}{2m}$

равнялось целому числу. Обмотка не будет симметричной, если знаменатель дроби равен трем, однако такие обмотки встречаются на практике.

Катушечные группы в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу легко распределить при помощи таблицы с числом строк, равным числу полюсов, и числом клеток в строке, равным $3c$, где c – числитель неправильной дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Таблицу разделяют на три одинаковых столбца с числом клеток в столбце, равным c . Затем в клетки вписывают в последовательном порядке номера пазов с шагом между ними, равным d клеткам, где d – знаменатель дроби, выражающей число пазов на полюс и фазу.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с элементами обмотки в магнитопроводе статора асинхронного двигателя.
2. Определить число полюсов электрической машины и все необходимые обмоточные данные в соответствии с заданием преподавателя. Проверить, удовлетворяет ли обмотка условиям симметрии.
3. Составить таблицу распределения пазов и катушек по фазам обмотки (по рассчитанным данным). Определить группировку катушек по фазам и порядок чередования катушечных групп.
4. Начертить развертку магнитопровода статора асинхронного двигателя, пронумеровать пазы.
5. Уложить в пазы катушечные группы обмотки одной фазы. Показать направление токов в их активных проводниках, отвечающее требуемому чередованию полюсов и выполнить соединение этих фазных катушек.

6. Аналогично уложить в пазы катушечные группы обмоток двух оставшихся фаз и провести их фазное соединение.

7. Принять момент времени (t) протекания токов по фазам и нарисовать векторную диаграмму токов, отвечающую этому моменту. Показать на развернутой схеме протекание этих токов по активным проводникам обмоток и положение полюсов (для выбранного момента времени t) в расточке статора двигателя.

Построение схемы двухслойной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу

Составим схему двухслойной обмотки со следующими данными:

$$z = 27; p = 3; m = 3; q = 1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}.$$

Для этой обмотки $t = 3$. Тогда:

$$\frac{z}{m} = \frac{27}{3 \cdot 3} = 3.$$

Таким образом, обмотка удовлетворяет условиям симметрии. Составим таблицу обмотки с числом клеток 3 в каждой колонке и впишем номера пазов с интервалом 2, то есть, пропуская 1 клетку (табл. 10.1):

Таблица 10.1

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки

Полюсы	Фаза А			Фаза С			Фаза В		
N	1		2		3		4		5
S		6		7		8		9	
N	10		11		12		13		14
S		15		16		17		18	
N	19		20		21		22		23
S		24		25		26		27	

Будем читать горизонтальные строки таблицы, и записывать обозначения фаз столько раз, сколько номеров стоит в столбце фазы. Это покажет группировку катушек по фазам:

AA C BB A CC B AA C BB A CC B AA C BB A CC B.

Буквы обозначают фазы, а число одинаковых букв подряд показывает, сколько содержится катушек в катушечной группе. Для данной обмотки необходимо заготовить 9 катушечных групп по две катушки и 9 одиночных. Они займут $(9 \cdot 2) + 9 = 27$ пазов.

При укладке в пазы следует, согласно группировке, после каждой катушечной группы, состоящей из двух катушек, класть катушечную группу, состоящую из одной катушки. Схема обмотки показана на рис. 10.1.

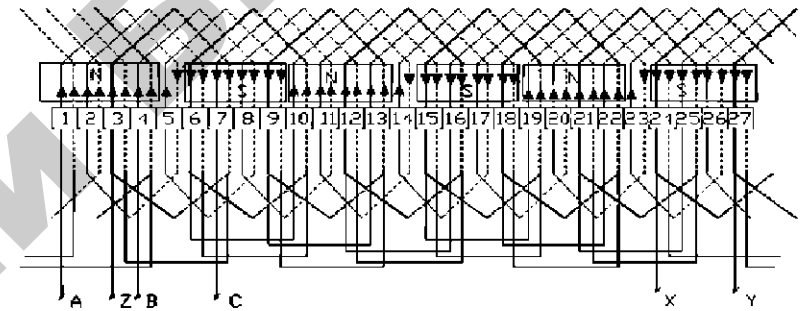


Рис. 10.1. Схема обмотки статора с дробным числом пазов на полюс и фазу

Пример

Обмотка имеет следующие данные: $z = 54; p = 4; m = 3;$
 $q = \frac{54}{8 \cdot 3} = 2\frac{1}{4} = \frac{9}{4}$. Для этой обмотки $t = 2$ (общий наибольший делитель для z и p):

$$\frac{z}{m} = \frac{54}{2 \cdot 3} = 9.$$

Условие симметрии выполняется.

Составим таблицу обмотки с числом клеток 9 в каждой колонке и впишем номера пазов с интервалом 4, то есть, пропуская 3 клетки (табл.10.2).

Таблица 10.2

Распределение пазов и катушек по фазам обмотки со следующими данными: $z = 54$; $p = 4$; $m = 3$; $q = 2\frac{1}{4} = \frac{9}{4}$

	Фаза А						Фаза С						Фаза В										
N	1			2			3			4			5			6			7				
S		8			9			10			11			12			13				14		
N			15			16			17			18			19			20				21	
S				22			23			24			25			26			27				
N	28				29			30			31			32			33			34			
S		35				36			37			38			39			40			41		
N			42				43			44			45			46			47			48	
S				49				50			51			52			53			54			

РЕПОЗИТОРИЙ БГУ

Определим порядок чередования катушечных групп:
 AAA CC BB AA CCC BB AA CC BVB AA CC BB и т.д.

Катушечные группы расположены в таком порядке:

(3-2-2-2)-(3-2-2-2)-(3-2-2-2)-...

Как видно из порядка чередования, оно повторяется через четыре цифры. Значит, порядок укладки катушечных групп будет следующий: тройная – двойная – двойная – двойная и т. д.

Сумма цифр в одном чередовании показывает число катушек, которое равно 9 (3 + 2 + 2 + 2). Всего катушек должно быть 54, поэтому по всей обмотке будет $54 : 9 = 6$ чередований. В каждом чередовании одна тройная катушечная группа (из трех катушек) и три двойные (из двух катушек). Всего на статор потребуется 6 катушечных групп тройных и 18 двойных.

При помощи таких таблиц можно определить чередование катушечных групп для любой обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

В табл. 10.3 показано чередование катушечных групп для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу.

Если целое число перед дробью больше 1, то в таблице чередований надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей.

Так, например, при $q = 1\frac{1}{2}$ в таблице чередуются катушечные группы из

1 и 2 катушек (1-2), а при $q = 2\frac{1}{2}$ чередуются катушечные группы из 2 и 3 катушек (2-3).

Таблица 10.3

Порядок чередования катушечных групп при дробных числах пазов на полюс и фазу

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования катушечных групп
$1\frac{1}{2}$	(1-2), (1-2), (1-2), (1-2) и т. д.
$1\frac{1}{4}$	(1-1-1-2), (1-1-1-2) и т. д.
$1\frac{3}{4}$	(1-2-2-2), (1-2-2-2) и т. д.
$1\frac{1}{5}$	(1-1-1-1-2), (1-1-1-1-2) и т. д.
$1\frac{2}{5}$	(2-1-2-1-1), (2-1-2-1-1) и т. д.
$1\frac{3}{5}$	(1-2-1-2-2), (1-2-1-2-2) и т. д.
$2\frac{1}{2}$	(2-3), (2-3) и т. д.
$3\frac{1}{4}$	(3-3-3-4), (3-3-3-4) и т. д.
$4\frac{1}{5}$	(4-4-4-4-5), (4-4-4-4-5) и т. д.

Цифры в данной таблице чередуются не в беспорядке, а определенными периодами. Число цифр в периоде равно знаменателю неправильной дроби d , а сумма цифр в периоде равна числителю неправильной дроби c . Например, при $q = 1\frac{3}{5} = \frac{8}{5}$ период состоит из пяти цифр (1-2-1-2-2). Сумма этих цифр равна 8, то есть числителю дроби.

Содержание отчета:

1. Рассчитать обмоточные данные по заданию преподавателя.
2. Составить таблицу распределения пазов и катушек по фазам обмотки и порядок чередования катушечных групп.
3. Привести развернутую схему обмотки с векторной диаграммой трехфазных токов в принятый момент времени и положением полюсов в расточке статора электрической машины.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные элементы обмоток асинхронных двигателей и дайте их определение.
2. Назовите основные обмоточные данные, как они определяются? Какие требуются данные для расчета обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу?
3. Как выполняются обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу?
4. Как выполняется условие симметрии обмотки?
5. Как составляется таблица распределения катушечных групп в обмотке с дробным числом пазов на полюс и фазу?
6. Какие принципы заложены в построение схем обмоток трехфазных асинхронных двигателей для получения вращающего магнитного поля в расточке статора?

Лабораторная работа № 11

ИЗОЛИРОВОЧНО-ОБМОТОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучить изоляцию пазов электрических машин, освоить изготовление и укладку катушечных групп. Ознакомиться с инструментами и приспособлениями.

Студент должен знать: технологию изготовления статорных обмоток, виды и характеристики электроизоляционных материалов, применяемых при изготовлении и ремонте электрических машин, классификацию обмоточных проводов;

уметь: выполнять операции изготовления и укладки пазовой изоляции, намотки катушечных групп. Изготавливать обмотку.

Общие сведения

Изготовление новой обмотки асинхронного двигателя при капитальном ремонте выполняется по следующим этапам:

- выбор изоляционных материалов для пазовой изоляции;
- заготовка изоляции, выполнение пазовой изоляции;
- намотка катушечных групп;
- укладка катушечных групп в пазы;
- пайка или сварка соединения обмоток;
- сушка и пропитка.

Для асинхронных двигателей мощностью до 25 кВт, напряжением до 660 В, с полужакрытой формой пазов магнитопровода обмотка выполняется из «мягких секций». Она также называется всыпной, или шаблонно-рассечной.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить порядок выполнения работы.
2. Изготовить изоляционные коробочки для одной катушечной группы.
3. По заданию преподавателя для конкретного асинхронного двигателя рассчитать и изготовить катушечную группу данного типа обмотки.
4. Изолировать пазы и уложить одну катушечную группу.
5. Разобрать катушечную группу.

Заготовка изоляции

Конструкции пазовой изоляции и материалы подробно рассмотрены в лекционном курсе (см. конспект) и приведены в прил. 28, 32–36.

При изготовлении изоляционной коробочки следует определить в первую очередь раскрой материала, который обеспечивает минимальные отходы. Резка заготовок, как правило, производится на рычажных ножницах, имеющих ограничительные и прижимные планки. Электрокартон режут так, чтобы направление волокон в уложенных в паз коробочках совпадало с продольной осью двигателя.

Пазовая коробочка для изоляции класса *A* и *B* обычно изготавливается из двух полосок, пленкоэлектрокартона (пленкой внутрь) или двух полосок электрокартона и одной полоски лакоткани между ними. Ширина внешней полоски электрокартона равна периметру паза, внутренней больше на 6–10 мм, чтобы края ее выходили из паза, после укладки секции в паз до ее заклинивания края обрезаются.

Длина внешней полоски больше длины магнитопровода на 6–10 мм, внутренней – больше на 12–20 мм. Это необходимо для подворачивания вокруг выступающей части внешней полоски и укрепления тем самым пазовой изоляции на углах в торце сердечника (рис. 11.1, 11.2).

Длина и ширина полоски лакоткани та же, что и у внешней полоски электрокартона.

Пазовые клинья для закрепления обмотки в пазах изготавливаются из твердых пород дерева или пластмассы.

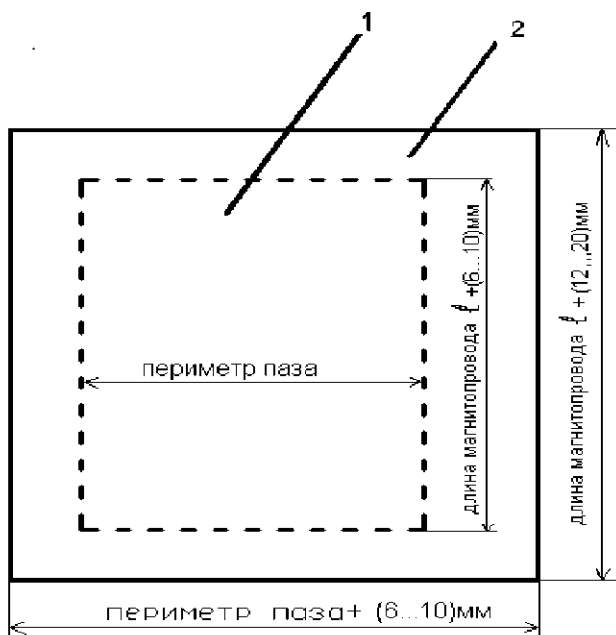


Рис. 11.1. Заготовка пазовой коробочки:
1 – внешняя полоска пленкоэлектрокартона;
2 – внутренняя полоска пленкоэлектрокартона

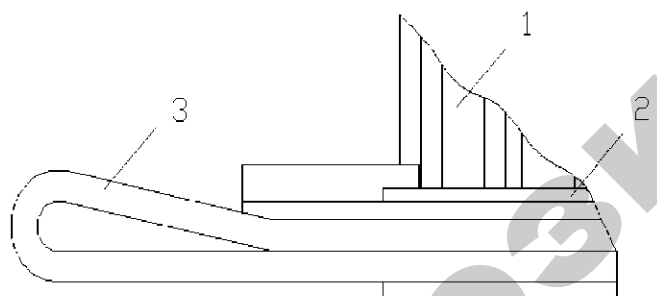


Рис. 11.2. Пазовая изоляция на торце сердечника:
1 – магнитопровод; 2 – пазовая коробочка; 3 – лобовая часть секции

Последнее время в двигателях малых мощностей для пазовой изоляции и клиньев используется полителентерефталатная пленка.

Намотка катушечных групп

Всыпная обмотка изготавливается из проводов круглого или прямоугольного сечения, одним или несколькими параллельными проводами (если $a \neq 1$). Марки обмоточных проводов, применяемых при изготовлении обмоток электрических машин, приведены в прил. 37, 38.

Катушки секций наматываются на специальные шаблоны на намоточных станках. Конструкций шаблонов в настоящее время разработано много: универсальные, ступенчатые и др. (рис. 11.3). Одни из них дают возможность получить лишь секции с нужной длиной витка, другие обеспечивают не только длину, но и форму секции.

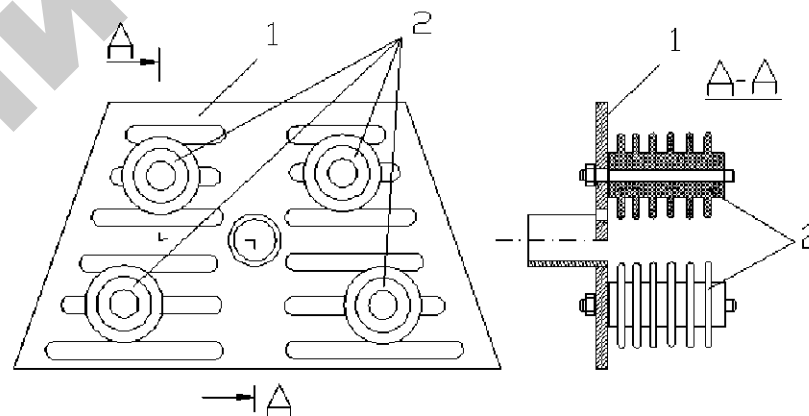


Рис. 11.3. Универсальный шаблон для намотки катушек:
1 – плита шаблона; 2 – колодка шаблона

При всем множестве конструкций и намоточных станков, принципиальных различий в них нет. Все они имеют шаблон, который вращается либо вручную, либо от электромашины через редуктор (рис. 11.4), число оборотов фиксирует счетчик.

Катушечная группа всыпных обмоток наматывается непрерывным проводом.

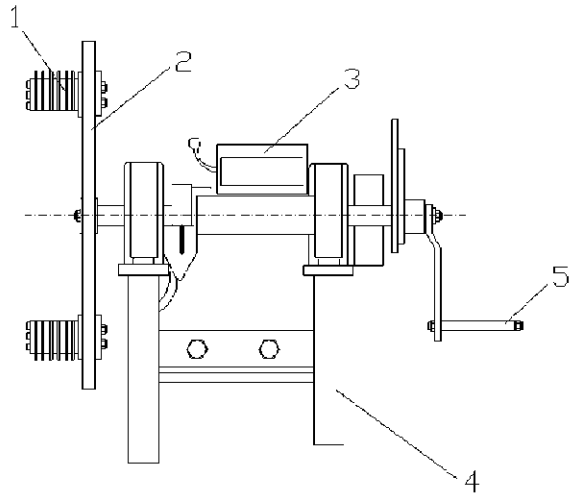


Рис. 11.4. Ручной станок для намотки катушек:

1 – колдужка шаблона; 2 – коромысло; 3 – счетчик оборотов; 4 – рама станка; 5 – ручка

Укладка катушечных групп в пазы

Укладка катушечных групп в пазы является одной из наиболее ответственных операций технологического процесса.

Для этого обмотчику должны быть даны все необходимые сведения расчета обмоток: конструкции и материалы пазовой изоляции; тип обмотки; марка обмоточного провода; его сечение; число параллельных сечений; количество витков в секции; число секций в катушечной группе; количество катушечных групп; размер секций (длина витков); шаг.

В частности, в выполняемой лабораторной работе необходимо рассчитать количество секций в катушечной группе, шаг и длину витка.

Шаг обмотки определяется по формуле:

$$y = \frac{z}{2P} \pm \varepsilon, \quad (11.1)$$

где z – число пазов в магнитопроводе;

P – число полюсов (задается преподавателем).

Количество секций в катушечной группе определяется по формуле:

$$q = \frac{z}{2Pm}, \quad (11.2)$$

где m – число фаз.

Длина витка, которая необходима для установки шаблона при изготовлении секций катушечных групп, определяется по формуле:

$$l_w = 2 \cdot (l_a + l_l), \quad (11.3)$$

где l_a – пазовая (активная) длина витка, м;

l_l – длина лобовой части витка, м.

Длина лобовой части витка обмотки определяется по формуле:

$$l_l = kT + l_n, \quad (11.4)$$

где k – поправочный коэффициент;

T – средняя ширина секции, м;

l_n – коэффициент запаса, м.

Поправочный коэффициент и коэффициент запаса зависят от исполнения и частоты вращения двигателя (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Поправочные коэффициенты k и l_n

$2P$	Сердечник статора, намотанный отдельно		Сердечник статора, намотанный непосредственно в корпусе	
	k	l_n , см	k	l_n , см
2	1,25	2	1,30	3
4	1,30	2	1,35	3
6	1,40	2	1,55	3
8	1,50	2	1,55	3

Средняя ширина секции определяется по следующей формуле:

$$T = \frac{\pi(D+h)}{z} y, \quad (11.5)$$

где D – внутренний диаметр магнитопровода, мм;

h – полная высота паза, мм.

Для укладки катушечных групп в пазы магнитопровода обмотчик должен располагать необходимым набором специальных инструментов. Желательно, чтобы рабочее место было оборудовано поворотным столом (рис. 11.5).

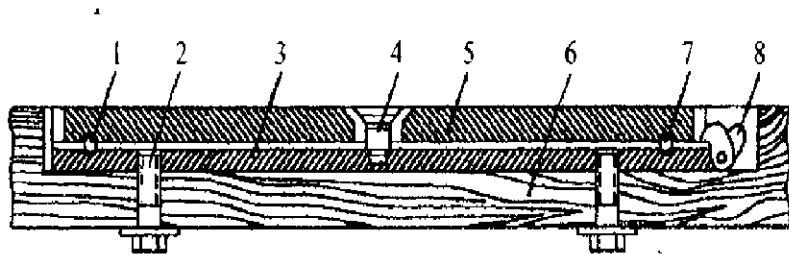


Рис. 11.5. Поворотный стол

Поворотный стол состоит из верхнего поворотного диска 5, нижнего неподвижного диска 3, прикрепленного к верстаку 6 с помощью болтов 2. В дисках проточена кольцевая канавка, в которую заложены шарики 1, 7. Диск 5 вращается вокруг оси 4. Фиксация положения поворотного диска осуществляется защелкой 8.

На рис. 11.6 показано приспособление для поворота статора или ротора вокруг горизонтальной оси.

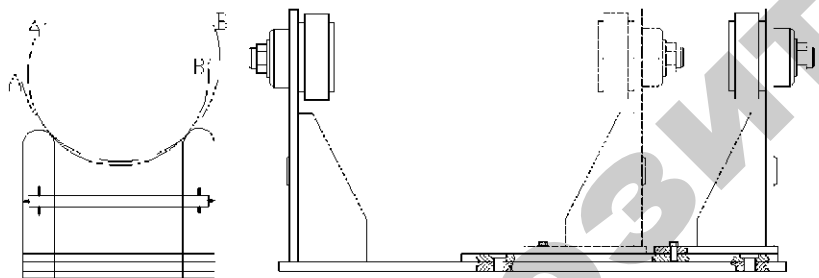


Рис. 11.6. Приспособления для поворота статора или ротора вокруг горизонтальной оси

При выполнении данной работы статор двигателей устанавливается на лабораторном столе.

После установки статора на столе активную сторону катушки, подлежащую укладке, располагают над пазом, находящимся внизу расточки, и проталкивают через шлиц все проводники первой секции. Необходимо следить, чтобы все проводники располагались параллельно друг другу. Указанным способом, поворачивая корпус статора, укладывают все активные стороны обмотки.

При двухслойной обмотке перед закладкой проводов верхних сторон секций производится уплотнение проводников нижних сторон с помощью оправки для осадки проводов на дно паза и наложения межслойной изоляции.

До укладки секций в пазах проводники должны быть расправлены, лобовым частям придана нужная форма.

Укладку следует проводить осторожно, следя за целостностью изоляции, параллельностью и отсутствием перекрещивания проводов.

После укладки секций катушечных групп в пазы и заклиновки, в лобовых частях между катушечными группами устанавливаются прокладки под первые секции каждой группы. При двухслойных обмотках с укороченным шагом прокладки устанавливаются между всеми секциями.

Лужение, пайка, сварка соединений обмотки

Лужением называют покрытие металлов мягким припоем при высокой температуре (до 400 °С). Лужение делается для обеспечения качественной пайки деталей и обеспечения хорошего контакта в месте соединения токоведущих деталей в холодном состоянии путем механического давления (болтовые соединения шин и т. п.).

В последнем случае мягкий припой в месте присоединения деформируется и создаст большую площадь соприкосновения, а это снижает плотность тока и, соответственно, увеличение потерь электроэнергии.

Пайкой называется соединение деталей с помощью плавления специального металлического материала припоя в месте соединения.

По температуре плавления пайки делятся на две группы:

1) мягкие (температура плавления до 400 °С, прил. 40). К ним относятся олово, свинцово-оловянные сплавы марки ПОС и др. Эти припои применяются для лужения и пайки, где от места соединения требуется хороший электрический контакт;

2) твердые (температура плавления выше 500 °С). К ним относят медно-цинковые ПМЦ, серебряные ПСр и др. Эти припои применяются там, где от места соединения требуется и хороший электрический контакт, и высокая механическая прочность.

Сваркой называют соединение деталей путем плавления их в месте соединения.

При пайке и сварке используют вспомогательные материалы – флюсы. Они обладают способностью хорошо растворять окислы металлов. А так как флюсы имеют меньшую плотность, то они всплывают на поверхность расплава и создают на нем прочную пленку, защищающую металл от воздействия кислорода (окисления). Кроме того, флюсы улучшают растекаемость припоя. В электротехнике в качестве флюса используют канифоль и другие материалы.

Концы проводов катушечных групп выпинных обмоток обычно соединяют сваркой (рис. 11.7).

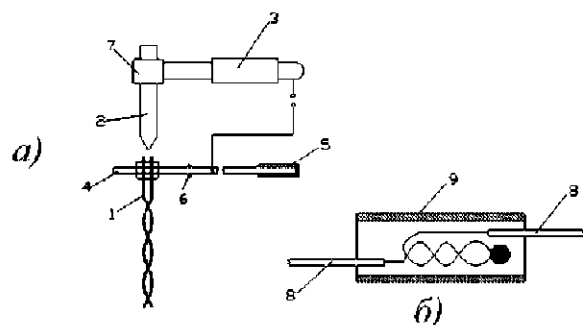


Рис. 11.7. Сварка и изолировка соединений проводов:

а) сварка соединений, б) изолировка соединений; 1 – свариваемые провода, 2 – угольный электрод, 3 – держатель электрода; 4 – ручные клещи; 5 – изолированные ручки клещей; 6 – ось клещей; 7 – смешные графитовые электроды клещей; 8 – изоляционная трубка, насаживаемая на провод; 9 – изоляционная трубка, насаживаемая на соединение

Ножом концы зачищаются от изоляции и окислов. На один из проводов надевается линоксиновая трубка диаметром несколько большим, чем диаметр провода с изоляцией. Затем очищенные концы скручиваются на участке 25–35 мм и свариваются торцы скруток угольным электродом.

После зачистки места оплавления отгибают скрутку. Место соединения изолируют ранее надетой на один из проводов линокси-

новой трубкой, надвигая ее на противоположный провод. При отсутствии трубок в качестве изоляции используют стеклоткань, стеклотоленты, хлопчатобумажные ленты.

От сварочного аппарата на угольный электрод подается напряжение 6–36 В. Величина этого напряжения зависит от диаметра свариваемых проводов.

Следует отметить, что сварка обеспечивает хороший электрический контакт в месте соединения, но плохую механическую прочность. Для этого и требуется предварительная скрутка концов. Если от места соединения требуется и высокая механическая прочность, то необходимо вместо сварки производить пайку.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Эскиз изоляции паза.
3. Расчеты обмоточных данных (шаг, число секций в катушечной группе, число катушечных групп) и длины витка.
4. Схема укладки одной катушечной группы обмотки.

Контрольные вопросы:

1. Нарисуйте эскиз изоляции паза для обмотки из мягких секций, назовите используемые материалы для обмотки класса нагревостойкости (А, Е, В и т. д.)
2. Как изготавливается изоляционная пазовая коробочка? Нарисуйте ее эскиз на торце магнитопровода.
3. Как изготавливаются катушечные группы?
4. Опишите, как укладываются катушечные группы в пазы.
5. Что называют лужением, пайкой, сваркой? Каково их назначение?
6. Какие припои применяются для пайки, в каких случаях?
7. Опишите процесс сварки концов катушечных групп обмотки.
8. Какими данными надо располагать обмотчику для выполнения катушечной группы? Как они определяются?
9. Перечислите данные, которые необходимо знать обмотчику для выполнения обмотки.
10. Как определить шаг обмотки, количество секций в катушечной группе, размер секции (длину витка)?
11. Какие инструменты используются при укладке обмотки, их назначение?

Лабораторная работа № 12

ЧАСТИЧНЫЙ РЕМОНТ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с методами частичного ремонта обмоток асинхронных двигателей и изучить влияние его на параметры электрической машины.

Студент должен знать: виды повреждений статорных обмоток, методы определения повреждений, способы частичного ремонта обмоток, их достоинства и недостатки, влияние частичного ремонта на параметры работы электродвигателя;

уметь: пользоваться приборами для определения местонахождения поврежденных участков обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей, проводить частичный ремонт.

Общие сведения

Статистика отказов асинхронных двигателей показывает, что до 80 % из них связаны с повреждениями в обмотках. При этом 70–75 % неисправностей обмоток приходится на витковые замыкания в секциях, 10–15 % – на замыкания обмоток на корпус, то есть до 95 % всех неисправностей в обмотках – это повреждение одной-двух секций, тогда как все остальные находятся в рабочем состоянии. Такое положение позволяет в экстремальных условиях проводить частичный ремонт обмоток электромашин.

Частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей выполняется путем удаления поврежденной секции из фазной катушки (катушечной группы) данной обмотки или ее восстановлением. Первый способ используется в случаях ограниченного периода

времени на ремонт, когда длительный простой машины вызывает большие производственные потери (например, порчу сельскохозяйственной продукции). Второй – когда время на ремонт достаточно, изоляция обмотки электромашин по степени старения может быть отнесена к первому (в некоторых случаях – ко второму) классу, а удаление поврежденной секции не испортит соседних катушек.

Однако в любом случае частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей должен быть технически и экономически обоснован.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями, уяснить цель и задачи выполняемой работы.
2. Изучить методы выполнения частичного ремонта обмоток асинхронных двигателей путем удаления поврежденной секции из фазной катушки и восстановления поврежденной секции.
3. Замерить величины тока, мощности, КПД, коэффициента мощности, момента и частоты вращения ротора (I , P , η , $\cos\varphi$, M , n) асинхронного двигателя на холостом ходу и при номинальной нагрузке до ремонта обмотки.
4. Замерить величины тока, мощности, КПД, коэффициента мощности, момента и частоты вращения ротора (I , P , η , $\cos\varphi$, M , n) асинхронного двигателя на холостом ходу и при нагрузке после частичного ремонта обмотки.
5. Проанализировать полученные результаты и сделать заключение о целесообразности частичного ремонта обмоток асинхронных двигателей.

Определение поврежденной секции

Частичный ремонт обмотки начинается с полной разборки асинхронного двигателя. Для определения секции с короткозамкнутыми витками и пазов в расточке статора, где она помещается, в основном используются следующие приборы и приспособления:

- ферромагнитный шарик;
- подковообразный электромагнит;
- электронные приборы (ЕЛ1, ПДО-1 и др.).

Способ определения витковых замыканий ферромагнитным шариком (рис. 12.1). Для этого к поврежденной обмотке, соединенной по схеме «звезда» или «треугольник» от источника трехфазного тока подводится пониженное (например, от сварочного трансформатора) или регулируемое напряжение.

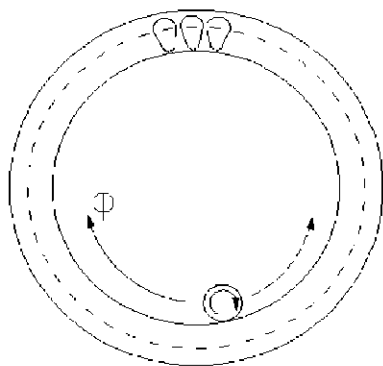


Рис. 12.1. Определение витковых замыканий при помощи ферромагнитного шарика

Оно должно быть такой величины, при которой ток в фазных обмотках не превысит номинального значения. Эти токи создадут в расточке статора асинхронного двигателя вращающееся магнитное поле. Помещенный туда ферромагнитный шарик (можно от шарикоподшипника), вращаясь по направлению этого потока, перемещается против него.

Над пазами, в которых лежат активные стороны секций с короткозамкнутыми витками, шарик останавливается («залипает»). Такое явление объясняется наличием стоячих электромагнитных полей вокруг активных проводников короткозамкнутых витков. Указанные поля создаются токами в этих витках, которые в свою очередь вызываются витковыми ЭДС. А эти ЭДС наводятся в короткозамкнутых витках вращающимся магнитным полем.

Определение поврежденных секций с короткозамкнутыми витками с помощью подковообразного электромагнита или приборов типа ЕЛП, а также замкнутых на корпус витков изложено в лабораторных работах № 2 и № 3.

Техническое выполнение частичного ремонта обмоток асинхронных двигателей во многом зависит от места повреждения. Так, при замыкании витков в секции или на корпус в лобовой части обмотки весь ремонт может быть сведен к ликвидации повреждения, зачистке провода в месте бывшего соединения и его изоляции (ленты, электротехнические бумаги, электрокартон, лак и пр.). При замыкании в пазовой (активной) части обмотки ремонт выполняется нижеизложенными способами.

Частичный ремонт обмоток удалением поврежденных секций

Выполнение частичного ремонта обмотки рассмотрим на конкретном примере. Для найденной поврежденной секции в лобовой части обмотки находятся ее концы, а так же концы катушечной группы, в которую секция входит. На рис. 12.2 показана трехсекционная катушечная группа, у которой вторая секция имеет витковые замыкания.

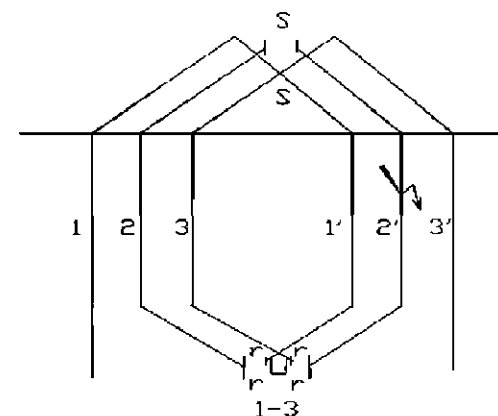


Рис. 12.2. Части обмотки (в местах сечений и соединений)

Порядок операций при проведении такого вида ремонта следующий:

- кусачками (плоскогубцами, бокорезами) рассекаются концы поврежденной секции (она «выкусывается») – сечение $r-r'$;

- конец исправной первой секции соединяется сваркой или пайкой с началом третьей (минуя концы второй поврежденной секции);
- распускаются все витки поврежденной секции в лобовой части – сечение $s-s$. Это делается для того, чтобы ликвидировать замкнутые контуры короткозамкнутых витков;
- изолируются все оголенные, токоведущие части обмотки (в местах сечений и соединений).

Проведение такого вида частичного ремонта оказывает на электрическую машину следующее влияние.

Начальное число витков в фазной обмотке асинхронного двигателя для данного магнитопровода до проведения ремонта ($W_{\text{фн}}$) определяется по выражению:

$$W_{\text{фн}} = \frac{0,97U_{\text{ф}}}{4,44fBQK_{\text{об}}}, \quad (12.1)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В;

f – частота тока, Гц;

B – магнитная индукция, Тл;

Q – площадь полюса, м²;

$K_{\text{об}}$ – обмоточный коэффициент.

Сокращение числа витков при частичном ремонте обмотки (одна секция удалена), как это следует из формулы (12.1), вызывает увеличение магнитной индукции B , Тл:

$$\uparrow B = \frac{0,97U_{\text{ф}}}{4,44fQK_{\text{об}}W_{\text{ф}}}, \quad (12.2)$$

Это, соответственно, увеличивает магнитную напряженность (рис. 12.3а). Так как $B = f(H)$, то же, что и $U_x = f(I_x)$, то есть характеристика холостого хода асинхронного двигателя, то увеличение магнитной индукции резко увеличит его ток холостого хода (I_x). При сокращении числа витков до $W_{\text{ф}}$ индукция переходит в зону

насыщения, в то время как до ремонта она была равна B_n и ток холостого хода был соответственно равен $I_{xн}$.

Из векторной диаграммы (рис. 12.3б) видно, что номинальный ток I_n (он же ток в статорной обмотке I_1) – величина неизменная. Он определяется нагревом обмоток. Значит, рабочий ток резко уменьшается до величины $-I_2$, так как:

$$I_{\text{н}} = I_1 - I_x + (-I_2). \quad (12.3)$$

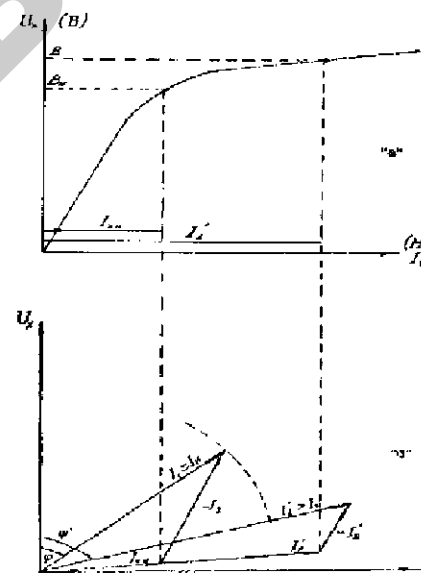


Рис. 12.3. Зависимости, характеризующие влияние частичного ремонта путем удаления поврежденной секции на работу электродвигателя:
а) характеристика $U_x = f(I_x)$; б) векторные диаграммы

Из той же диаграммы следует, что при сокращении числа витков коэффициент мощности $\cos\phi$ значительно уменьшается, так как угол ϕ увеличивается до ϕ' .

Увеличение магнитной индукции (B) вызывает увеличение потерь холостого хода P_x , так как они пропорциональны B^2 . При этом увеличиваются и потери короткого замыкания P_k , так как ток (I_1),

который был в статорной обмотке, приходится задавать выше номинального. Следовательно, коэффициент полезного действия будет резко падать:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_1 - (P_{\Sigma} + P_{\Sigma})}{P_1}, \quad (12.4)$$

где P_1 – активная мощность, подведенная к двигателю, Вт;

P – мощность на валу асинхронного двигателя, Вт.

Исключение поврежденной секции из обмотки при частичном ремонте равноценно повышению напряжения (рис. 12.3а). Поэтому момент на валу двигателя, который пропорционален U^2 , увеличивается.

Значит, электромашинка будет работать устойчиво. Пусковой момент двигателя (M_n) будет больше момента нагрузки на валу M_B (рис. 12.4), а частота вращения ротора несколько возрастает, снижается скольжение. Отсюда можно сделать следующий вывод: частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей путем удаления поврежденной секции рационален только для чрезвычайных случаев, так как все его энергетические характеристики крайне низки.

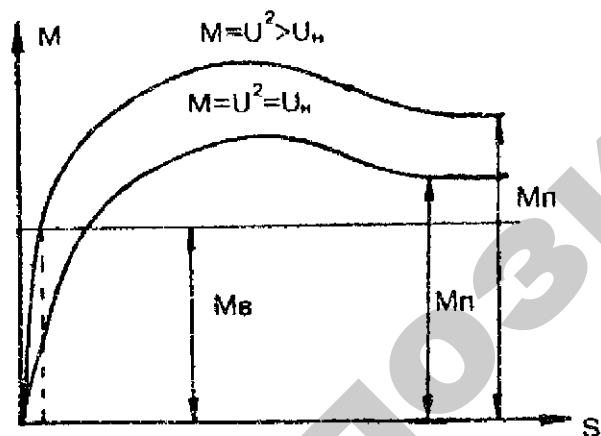


Рис. 12.4. Зависимость момента M электродвигателя от скольжения

При этом если требуется работа двигателя без сокращения нагрузки, срок его работы будет ограниченным, так как ток статорной обмотки будет значительно больше номинального, что приведет к ускоренному старению изоляции.

Частичный ремонт обмоток восстановлением поврежденной секции

Выполнение частичного ремонта обмотки рассмотрим на конкретном примере. Для найденной поврежденной секции в лобовой части обмотки находятся ее концы, а также концы катушечной группы, в которую секция входит.

Допустим, что восстанавливается секция (условия рассмотренного ранее примера), в которой катушечная группа трехсекционная и повреждена вторая секция (см. рис. 12.2, рис. 12.5–12.7).

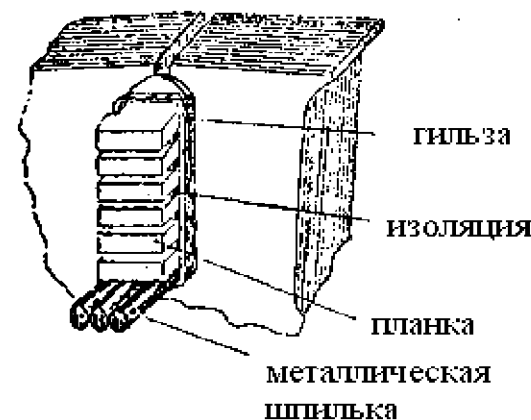


Рис. 12.5. Ремонт обмоток восстановлением поврежденной секции

Последовательность операций при проведении этого вида ремонта следующая:

- 1) поврежденная секция «выкусывается» из катушечной группы и рассекается в лобовой части;
- 2) с помощью какого-либо приспособления (ломика) она удаляется из пазов со стороны целой лобовой части обмотки;

3) освободившиеся пазы очищаются от грязи, остатков старой изоляции и продуваются сжатым воздухом;

4) укладывается свежая пазовая изоляция; тонкий пленкоэлектротрактан в два слоя пленкой внутрь (могут быть и другие конструкции). Важно, чтобы коэффициент заполнения паза был как можно больше;

5) в полость изоляционной гильзы помещаются планки толщиной, равной диаметру провода обмотки электромашин. Число планок должно быть равно числу слоев активных проводников секции в пазу. Последний слой выполняется металлическими шпильками по числу проводников в слое (в качестве шпилек можно использовать обрезки обмоточного провода нужной длины, диаметром несколько большим, чем диаметр провода обмотки электродвигателя). Также подготавливается и второй паз;

6) подготавливается обмоточный провод для секции. Отрезается кусок длиной, равной длине секции l_c с учетом срезов:

$$l_c = l_v W_c + l_{cp}, \quad (12.5)$$

где l_v — длина витка;

W_c — число витков в секции;

l_{cp} — длина срезов.

Поверхность его натирается воскообразным диэлектриком для улучшения скольжения. Подготавливаются приспособления, обеспечивающие укладку провода без его спутывания;

7) вынимается металлическая шпилька из первого паза и на ее место протягивается обмоточный провод (рис. 12.6). Вынимается аналогичная шпилька из второго паза и проводится такая же операция. Затем, вынимаются рядом лежащие в этих пазах шпильки, и укладывается второй виток. После укладки всех витков в данном слое из пазов удаляются рядом лежащие планки и на их место помещаются металлические шпильки. Процесс укладки последующих витков секции выполняется также.

По завершении укладки всех витков секции лобовые части ее изолируются лентами и пропитываются. Изложенный тип

выполнения секции называется «методом протяжки». По нему может выполняться вся обмотка.

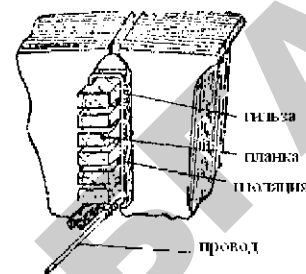


Рис. 12.6.

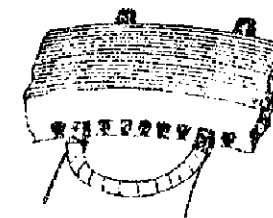


Рис. 12.7.

Проведение такого вида частичного ремонта оказывает на электрическую машину следующее влияние: если при восстановлении секции обмотки асинхронного двигателя в нее было уложено то же число витков, что и в поврежденной, все параметры электродвигателя полностью сохраняются. Часто бывает, что 1–2 витка в конце укладки поместить не удастся. Это, по вышеуказанным причинам, приводит к увеличению тока холостого хода, снижению $\cos\phi$ и КПД. Однако эти показатели почти всегда находятся в допустимых пределах.

Исследование работы асинхронного двигателя до проведения частичного ремонта

При выполнении этого пункта студентами изначально выписываются все паспортные данные испытуемого асинхронного двигателя. Далее уточняется, какие параметры подлежат измерению, проверяются приборы стенда согласно требованиям замеров (тип, шкала измерения, класс точности), составляется схема исследования, и после проверки преподавателем схема собирается на стенде.

До проведения частичного ремонта обмотка асинхронного электродвигателя исследуется: на холостом ходу; при номинальной нагрузке.

Для выполнения работы надо перемкнуть концы фазных катушек 1–2, 3–4, 5–6, 7–5, 9–10, 11–12.

1. Автоматическим выключателем подключить электромашину к сети. Данные приборов записать в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Показания приборов до проведения частичного ремонта при исследовании ЭД на холостом ходу

Данные опыта									Примечания
I_a	I_b	I_c	U_a	U_b	U_c	P_a	P_b	P_c	
А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	

По результатам опыта рассчитываются величины:

– полная мощность двигателя:

$$S = 3U_{\phi} I_{\phi} \cdot 10^{-3}, \text{кВ}\cdot\text{А}; \quad (12.6)$$

– подводимая активная мощность:

$$P = (P_a + P_b + P_c) \cdot 10^{-3}, \text{кВт}; \quad (12.7)$$

– средний фазный ток:

$$I_{\phi} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}, \text{А}; \quad (12.8)$$

– коэффициент мощности для всех трех фаз:

$$\cos\varphi_{(a,b,c)} = \frac{P_{(a,b,c)}}{U_{(a,b,c)} I_{(a,b,c)}}; \quad (12.9)$$

– среднее значение коэффициента мощности:

$$\cos\varphi_{\text{ср}} = \frac{P}{S}; \quad (12.10)$$

– потери в обмотке статора:

$$P_M = 3I_{\phi}^2 R_{75}, \text{Вт}; \quad (12.11)$$

где R_{75} – расчетное сопротивление обмотки фазы статора, приведенное к 75°C по формуле:

$$R_{75} = R(1 + \alpha(75^\circ - t^\circ)), \quad (12.12)$$

где R – сопротивление обмотки при температуре $t - 20^\circ\text{C}$;

α – температурный коэффициент для меди = 0,004;

– потери в стали и механические:

$$P_{\text{ср}} + P_{\text{мех}} = P - P_M; \quad (12.13)$$

– добавочные потери:

$$P_{\text{доб}} = 0,005P, \text{Вт}; \quad (12.14)$$

– суммарные потери:

$$\Sigma P = P_M + P_{\text{ср}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}, \text{Вт}. \quad (12.15)$$

Результаты расчетов занести в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Расчеты параметров ЭД до проведения частичного ремонта при исследовании на холостом ходу

Данные расчетов											
S	P	I_{ϕ}	$\cos\varphi_a$	$\cos\varphi_b$	$\cos\varphi_c$	$\cos\varphi_{\text{ср}}$	P_M	$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{мех}}$	$P_{\text{доб}}$	ΣP
кВА	кВт	А					Вт	Вт	Вт	Вт	Вт

2. Автоматическим выключателем подключить электромашину к сети, электромагнитным тормозом нагрузить двигатель до номинального тока. Данные приборов записать в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Показания приборов до проведения частичного ремонта при исследовании ЭД под нагрузкой

Данные опыта										
I_a	I_b	I_c	U_a	U_b	U_c	P_a	P_b	P_c	M	n
А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	Н·м	мин ⁻¹

По формулам (12.6–12.15) рассчитать величины: S , P , I_Φ , $\cos\varphi_a$, $\cos\varphi_b$, $\cos\varphi_c$, $\cos\varphi_{cp}$, P_m , $P_{ct} + P_{мех}$, $P_{доб}$, $\sum P$. Также определить:

– мощность на валу двигателя (полезная мощность):

$$P_2 = \frac{Mn}{9,55}, \quad (12.16)$$

$$\text{или } P_2 = P - \sum P. \quad (12.17)$$

Примечание. При правильно снятых показаниях и обработке расхождение P_2 по этим формулам не должно быть более 10 %.

– коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P} \cdot 100, \text{ \%}. \quad (12.18)$$

Результаты расчетов внести в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Расчеты параметров ЭД до проведения частичного ремонта
при исследовании под нагрузкой

Данные расчетов													
S	P	I_Φ	$\cos\varphi_a$	$\cos\varphi_b$	$\cos\varphi_c$	$\cos\varphi_{cp}$	P_m	P_{cp}	$P_{мех}$	$P_{доб}$	$\sum P$	P_2	η
кВ·А	кВт	А	о. е.	о. е.	о. е.	о. е.	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	о. е.

По данным экспериментов и расчетов построить векторную диаграмму напряжения и токов. Определить ток ротора ($-I_2$).

Исследование работы асинхронного двигателя после проведения частичного ремонта

После проведения частичного ремонта обмотка асинхронного электродвигателя также исследуется: на холостом ходу; при номинальной нагрузке.

Для этого разомкнуть концы фазных катушек 1–2, 3–4 и перемкнуть концы катушек 2–3, 5–6, 7–8, 9–10, 11–12 (то есть исключить из катушечной группы фазы А вторую секцию. Рассе-

вать ее в нашем случае нет необходимости, так как в ней нет короткозамкнутых витков).

1. Автоматическим выключателем подключить электромашину к сети. Данные приборов записать в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Показания приборов после проведения частичного ремонта
при исследовании ЭД на холостом ходу

Данные опыта									Примечания
I_a	I_b	I_c	U_a	U_b	U_c	P_a	P_b	P_c	
А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	

По формулам (12.6–12.15) рассчитать величины: S , P , I_Φ , $\cos\varphi_a$, $\cos\varphi_b$, $\cos\varphi_c$, $\cos\varphi_{cp}$, P_m , $P_{ct} - P_{мех}$, $P_{доб}$, $\sum P$. Результаты расчетов занести в табл. 12.6.

Таблица 12.6

Результаты расчетов параметров ЭД после проведения частичного ремонта
при исследовании на холостом ходу

Данные расчетов											
S	P	I_Φ	$\cos\varphi_a$	$\cos\varphi_b$	$\cos\varphi_c$	$\cos\varphi_{cp}$	P_m	P_{cp}	$P_{мех}$	$P_{доб}$	$\sum P$
кВА	кВт	А	о. е.	о. е.	о. е.	о. е.	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт

2. Автоматическим выключателем подключить электромашину к сети, электромагнитным тормозом нагрузить двигатель до номинального тока. Данные приборов записать в табл. 12.7.

Повысить нагрузку до $1,5 I_n$ и полученные для этой загрузки данные приборов внести в табл. 12.7.

Таблица 12.7

Показания приборов после проведения частичного ремонта
при исследовании ЭД под нагрузкой

Данные опыта										
I_a	I_b	I_c	U_a	U_b	U_c	P_a	P_b	P_c	M	n
А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	Н·м	мин ⁻¹

По формулам (12.6–12.18) рассчитать величины S , P , I_{ϕ} , $\cos\varphi_a$, $\cos\varphi_b$, $\cos\varphi_c$, $\cos\varphi_{cp}$, P_m , $P_{ст} - P_{мех}$, $P_{доб}$, $\sum P$, P_2 и η . Результаты расчетов внести в табл. 12.8.

Таблица 12.8

Результаты расчетов параметров ЭД после проведения частичного ремонта при исследовании под нагрузкой

Данные расчетов													
S	P	I_{ϕ}	$\cos\varphi_a$	$\cos\varphi_b$	$\cos\varphi_c$	$\cos\varphi_{cp}$	P_m	$P_{ст}$	$P_{мех}$	$P_{доб}$	$\sum P$	P_2	η
кВА	кВт	А	о. е.	о. е.	о. е.	о. е.	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	о.е.

По данным экспериментов и расчетов построить векторные диаграммы напряжения и токов. Определить ток ротора ($-I_2$) при I_H и $1,5 I_H$.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения о проведении частичного ремонта обмоток трехфазных асинхронных электродвигателей.
3. Паспортные данные испытуемой машины и приборов.
4. Схема испытания обмотки.
5. Данные результатов расчетов основных параметров ЭД до и после проведения частичного ремонта, векторные диаграммы.
6. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Когда проводится частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей способом удаления поврежденной секции?
2. Когда проводится частичный ремонт обмоток асинхронных двигателей способом восстановления поврежденной секции?
3. Какое влияние оказывает на токи асинхронного двигателя удаление из обмотки поврежденной секции? Почему?
4. Какое влияние оказывает на коэффициент мощности и КПД асинхронного двигателя удаление из обмотки поврежденной секции?

5. Какое влияние оказывает на потери асинхронного двигателя удаление из обмотки поврежденной секции?

6. Какое влияние оказывает на моменты асинхронного двигателя удаление из обмотки поврежденной секции?

7. Как выполняется частичный ремонт обмоток асинхронного двигателя способом удаления поврежденной секции?

8. Как выполняется частичный ремонт обмоток асинхронного двигателя способом восстановления поврежденной секции?

Раздел III

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ

Лабораторная работа № 13

СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: освоить методику соединения обмотки машины постоянного тока со смешанным возбуждением.

Студент должен знать: конструктивные особенности машин постоянного тока смешанного возбуждения, назначение обмоток;

уметь: осуществлять включение последовательной обмотки по отношению к параллельной, маркировать концы выводов обмоток, проводить проверку правильности установки щеток на нейтраль.

Общие сведения

Из курса электрических машин известно, что машина постоянного тока состоит из двух основных частей:

– неподвижной, предназначенной в основном для создания магнитного потока и состоящей из основных полюсов, добавочных полюсов и станины;

– вращающейся части (якорь). В якоре происходит процесс преобразования механической энергии в электрическую (электрический генератор) или обратно – электрической в механическую

(электродвигатель). Якорь представляет собой цилиндрическое тело, вращающееся в пространстве между полюсами, состоящее из зубчатого сердечника якоря и уложенной на нем обмотки, коллектора; щеточного аппарата.

На сердечник основных полюсов надевают катушки, которые называют *обмотками возбуждения*. У машин последовательного и параллельного возбуждения на каждом полюсе имеется только по одной катушке. У машин смешанного возбуждения – две катушки, серийная и шунтовая.

Обмотка последовательного возбуждения включается последовательно с обмоткой якоря и по ней проходит весь ток цепи. Она должна обладать малым сопротивлением току, и поэтому выполняется из провода большого сечения и с малым количеством витков.

Обмотка параллельного возбуждения включается параллельно обмотке якоря и рассчитывается на полное напряжение. Следовательно, она должна обладать большим сопротивлением. Поэтому ее выполняют из провода малого сечения и с большим количеством витков.

В электрических машинах со смешанным возбуждением (компаундированных) обмотка параллельного возбуждения является основной обмоткой возбуждения, то есть создающей основной магнитный поток Φ . Обмотка последовательного возбуждения играет роль компенсирующей обмотки. Она служит для компенсации магнитного потока реакции якоря. Причем компенсация потока реакции якоря происходит «автоматически», так как серийная обмотка соединена последовательно обмотке якоря.

Следовательно, при токе якоря $I_a = 0$ (Φ реакция якоря = 0) отсутствует ток и в серийной обмотке, $I_c = 0$. Тогда магнитный поток серийной обмотки $\Phi_c = 0$.

При появлении тока в обмотке якоря $I_a \neq 0$ (включение нагрузки) появляется магнитный поток реакции якоря. По серийной обмотке, включенной с обмоткой якоря последовательно, протекает тот же ток. Следовательно, величина компенсирующего магнитного потока, который должен быть направлен встречно магнитному потоку реакции якоря, будет зависеть от числа витков серийной обмотки. Число витков серийной обмотки W_c подбирается так, чтобы Φ реакции якоря равнялся Φ серийной обмотки при номинальном токе генератора. В этом случае будет иметь место компаундирование генератора.

Если число витков серийной обмотки (W_c) намотано меньше нормы, то поток Φ реакции якоря не будет полностью скомпенсирован. Тогда с ростом нагрузки напряжение на генераторе падает ($U \neq U_n$). Генератор недокомпандинирован.

При W_c больше нормы картина будет обратной – генератор перекомпандинирован.

Для того чтобы серийная обмотка играла роль компенсирующей обмотки, она должна быть согласована с обмоткой параллельного возбуждения.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
2. Соединить катушки главных полюсов обмотки.
3. Проверить правильность включения последовательной обмотки по отношению к параллельной.
4. Замаркировать концы выводов машины постоянного тока со смешанным возбуждением.
5. Проверить правильность установки щеток на нейтраль.
6. Снять внешнюю характеристику $U - f(I)$ генератора со смешанным возбуждением.

Соединение катушек главных полюсов машины постоянного тока

На представленном в лаборатории стенде машина постоянного тока имеет четыре главных полюса. На их сердечники надеты по две катушки. Одна катушка – обмотки параллельного возбуждения, другая – последовательного. Концы катушек выведены на клеммный щиток. Таким образом, на щитке выведено 16 концов катушек обмоток возбуждения и 2 конца обмотки якоря, 8 верхних клемм щитка относятся к концам катушек параллельного возбуждения, а 8 нижних – к концам катушек последовательного возбуждения.

Катушки каждого полюса шунтовой обмотки и, соответственно, серийной, должны быть соединены между собой согласовано. В результате получается соответствующая обмотка возбуждения, но при этом должно быть строгое чередование полюсов. Только в этом случае ЭДС генератора получится максимальной. Следует помнить, что полярность полюсов зависит или от направления

намотки, или от направления тока в ней (правило «правой руки», или правило «буравчика»). Рассмотрим это на примере.

На рис. 13.1 показана секция обмотки якоря, представленная одновитковой. Активные части ее 1 и 2 уложены в пазы якоря на расстоянии шага, равного ширине полюса.

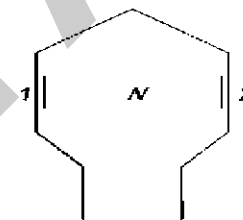


Рис. 13.1. Одновитковая секция обмотки якоря

Поскольку в данный момент времени активные части секций находятся в нейтральном положении, между полюсами, то ЭДС в них индуцироваться не будет, то есть $e_1 = 0$, $e_2 = 0$.

Приведем якорь во вращение (направление вращения указано стрелкой). Пусть при этом полюса будут одноименные, например, северные (N) (рис. 13.2).

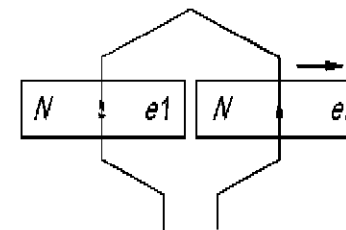


Рис. 13.2. Полюсность в секции якорной обмотки при $e_1 = -e_2$

При пересечении активными частями секций магнитных силовых линий в них будет индуцироваться ЭДС e_1 и e_2 (правило «правой руки»).

Так как полюса одинаковые, то ЭДС в секции будут направлены встречно, а по величине – равны, то есть $e_1 = -e_2$. Суммарная ЭДС в секции будет равна нулю:

$$e_{\Sigma} = e_1 - e_2 = 0.$$

Полуса расположены над плоскостью листа.

Изменим каждый второй полюс на противоположный, то есть сделаем чередование полюсов (рис. 13.3), и будем вращать якорь. Теперь ЭДС, индуцированные в активных частях секций, будут иметь согласное направление и тоже будут равны по величине: $e_1 = e_2$.

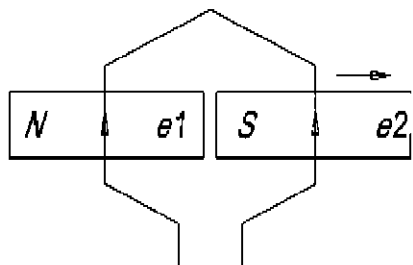


Рис. 13.3. Определение e_{Σ} при разноименных полюсах

Сейчас же суммарная ЭДС секции будет равна сумме ЭДС двух проводников, то есть $e_{\Sigma} = e_1 - e_2 = 2e_1$.

Из рассмотренного примера видно, что ЭДС генераторов достигает максимального значения только в такой машине, в которой имеется строгое чередование полюсов.

Если начала и концы катушек неизвестны, полярность полюсов определяют с помощью магнитной стрелки (компас), добиваясь путем переключения концов катушек необходимого порядка чередования полюсов.

За начало и конец обмотки можно брать любые два конца. На клеммном щитке в лаборатории начала обозначены Ш₁ и С₁ и концы Ш₂ и С₂, соответственно шунтовой и серийной обмоток.

Чтобы избежать переманчивания магнитной стрелки, питание катушек полюсов производят пониженным напряжением (110 В). Катушки соединяются в обмотку по схеме, изображенной на рис. 13.4.

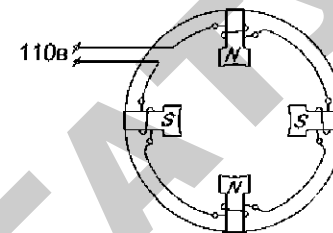


Рис. 13.4. Нормальное чередование полюсности в якорной обмотке

По методу магнитной стрелки следует собрать лишь обмотку параллельного возбуждения. В случае необходимости сборки обмотки последовательного возбуждения по данному методу (магнитной стрелки) в цепь следует последовательно включить реостат.

Для того чтобы серийная обмотка выполняла роль компенсирующей обмотки, она должна быть строго согласована на полюсах с обмоткой параллельного возбуждения, что в данной работе следует выполнить индукционным методом (метод магнитной стрелки описан выше).

При проверке соответствия полярности шунтовой и серийной обмоток индуктивным методом поступают следующим образом: установив предварительно правильный порядок чередования катушек параллельной обмотки возбуждения, подводят к ней ток от постороннего источника низкого напряжения.

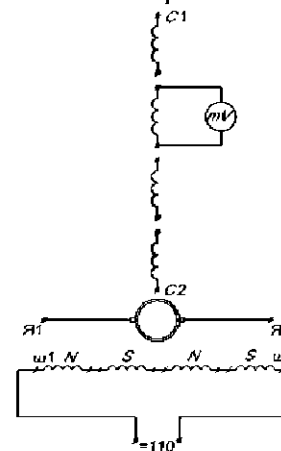


Рис. 13.5. Определение полярности импульсов тока в катушках последовательной обмотки

В момент включения или отключения чувствительным милливольтметром определяют полярность импульсов тока в каждой из катушек последовательной обмотки (рис. 13.5).

При правильном соединении все катушки последовательной обмотки возбуждения на полюсах должны иметь одинаковую полярность с катушками обмотки параллельного возбуждения на тех же самых полюсах (рис. 13.6).

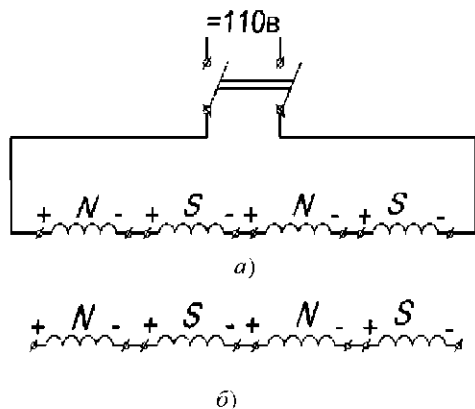


Рис. 13.6. Согласованное соединение последовательной и параллельной обмоток возбуждения

Проверка правильности включения последовательной обмотки по отношению к параллельной может быть произведена следующими способами.

1. Машину пускают двигателем в нормальном соединении и отмечают направление вращения. Затем, отсоединив шунтовую обмотку, производят новый пуск при пониженном напряжении и также замечают направление вращения. При правильном включении обмоток возбуждения (последовательной и параллельной) направление вращения в обоих случаях одинаково.

2. В машине, работающей генератором, при закорачивании последовательной обмотки (при нагруженном генераторе) при правильном включении последней будет наблюдаться падение напряжения.

Одинаковос направление вращения якоря двигателя как при включении обеих обмоток, шунтовой и серийной, так и при

отключенной шунтовой объясняется тем, что при правильном включении серийной обмотки по отношению к шунтовой магнитные потоки их совпадают.

Падение напряжения на клеммах нагруженного генератора в случае закорачивания последовательной обмотки при правильном ее включении объясняется размагничивающим действием реакции якоря.

Это можно объяснить на примере. Возьмем один полюс, например, северный N , и пусть на нем будет только одна катушка шунтовой обмотки, то есть машина параллельного возбуждения (рис. 13.7).

Приведем машину во вращение. На ее зажимах появится небольшое напряжение, и по цепи возбуждения будет протекать небольшой ток, который создаст добавочный поток намагничивания Φ_0 . При согласном направлении остаточного потока намагничивания Φ_{oc} и добавочного потока Φ_0 результирующий поток будет увеличиваться. Это приводит к возрастанию ЭДС якоря и, в свою очередь, вызывает дальнейшее увеличение тока. Результирующий магнитный поток называют потоком параллельной (шунтовой) обмотки возбуждения $\Phi_{ш}$.

При нагрузке по обмотке якоря протекает ток, который создает свой магнитный поток $\Phi_я$, направленный встречно потоку $\Phi_{ш}$ (рис. 13.7).

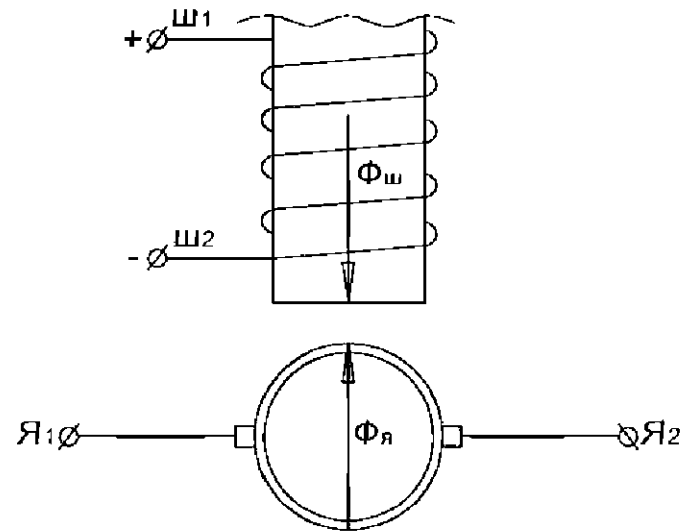


Рис. 13.7.

Магнитный поток $\Phi_{\text{я}}$ будет действовать размагничивающе на магнитный поток $\Phi_{\text{ш}}$. С ростом нагрузки будет возрастать ток якоря I . Магнитный поток обмотки якоря $\Phi_{\text{я}}$, создаваемый этим током, будет тоже возрастать, а результирующий магнитный поток генератора Φ будет уменьшаться, так как поток $\Phi_{\text{я}}$ будет уменьшать поток $\Phi_{\text{ш}}$.

Так как $U = C\Phi n$, а $\Phi = I$, то с ростом нагрузки напряжение на генераторе параллельного возбуждения будет падать, то есть внешняя характеристика $U = f(I)$ такой машины имеет падающий вид (рис. 13.8).

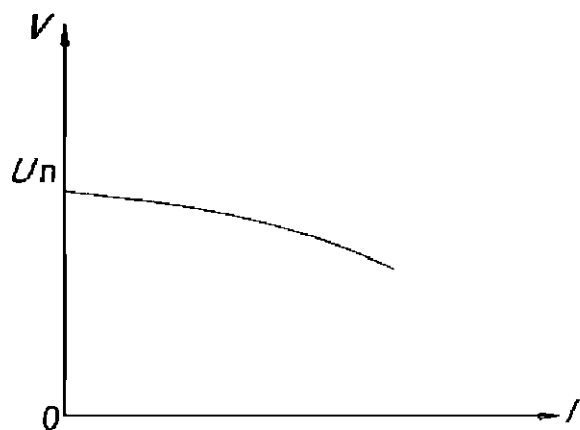


Рис. 13.8. Изменение внешней характеристики генератора с ростом нагрузки

Поместим на этот же полюс вторую катушку с меньшим числом витков и большего сечения. Соединим ее последовательно с обмоткой якоря, но так, чтобы поток ее $\Phi_{\text{с}}$ совпадал по направлению с потоком $\Phi_{\text{ш}}$ (рис. 13.9). В противном случае поток обмотки последовательного возбуждения будет действовать размагничивающее на поток шунтовой обмотки.

Величина магнитного потока $\Phi_{\text{с}}$ зависит от числа витков серийной обмотки. При определенном числе витков в этой катушке потоки $\Phi_{\text{с}}$ и $\Phi_{\text{я}}$ будут равны. Но так как по обеим обмоткам (серийной и обмотке якоря) проходит один и тот же ток, то с ростом нагрузки потоки эти будут возрастать, оставаясь между собой все время одинаковыми.

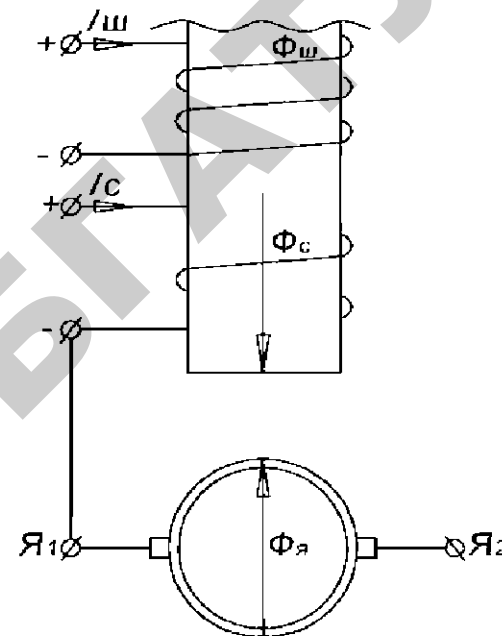


Рис. 13.9.

В этом случае магнитный поток последовательной обмотки возбуждения будет полностью компенсировать поток реакции якоря $\Phi_{\text{я}}$.

Такая электрическая машина компаундирована нормально. Внешняя характеристика ее имеет вид прямой, параллельной оси ординат (рис. 13.10, характеристика 1).

Если взять число витков в серийной обмотке несколько меньше нормального, то поток $\Phi_{\text{я}} > \Phi_{\text{с}}$ и в некоторой степени будет уменьшать поток $\Phi_{\text{ш}}$. Машина в этом случае недокомпаундирована (рис. 13.10, характеристика 2).

При числе витков в серийной обмотке несколько больше нормального ($\Phi_{\text{я}} < \Phi_{\text{с}}$) результирующий поток Φ будет возрастать. Электрическая машина в этом случае будет перекомпаундирована (рис. 13.10, характеристика 3).

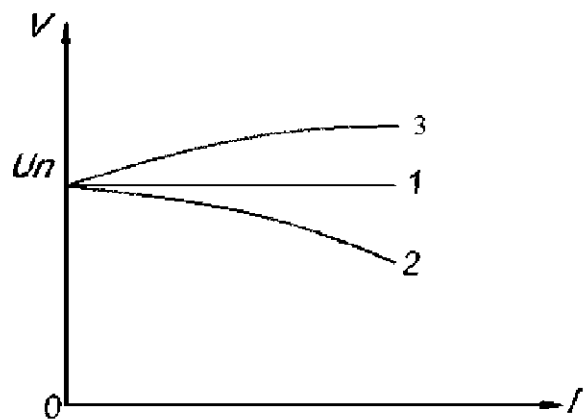


Рис. 13.10. Внешние характеристики:
 1 – машина компаундирована нормально; 2 – машина недокомпаундирована;
 3 – машина перекомпаундирована

Таким образом, последовательная обмотка возбуждения в электрических машинах со смешанным возбуждением предназначена для компенсации магнитного потока реакции якоря. В электрических машинах, работающих как в генераторном, так и в двигательном режимах, она должна соединиться с обмоткой якоря последовательно, но таким образом, чтобы ее поток Φ_c был направлен всегда встречно потоку якоря Φ_a и согласно потоку шунтовой обмотки $\Phi_{ш}$.

Установка щеток на нейтраль

Как известно из курса электрических машин, для нормальной работы электрической машины постоянного тока щетки ее должны быть установлены в нейтральной зоне. Для машины, работающей в генераторном режиме, такая установка щеток позволяет снимать максимальную ЭДС. Проводники, с которых в данный момент снимается щеткой ЭДС, находятся под серединами полюсов, и в них индуцируется максимальная ЭДС.

Нейтраль у машины постоянного тока может быть определена следующими способами.

1. Метод наибольшего напряжения генератора.

Вращая генератор с постоянной скоростью при независимом возбуждении, щетки передвигают до тех пор, пока вольтметр, присоединенный к зажимам якоря, не покажет наибольшего напряжения (рис. 13.11).

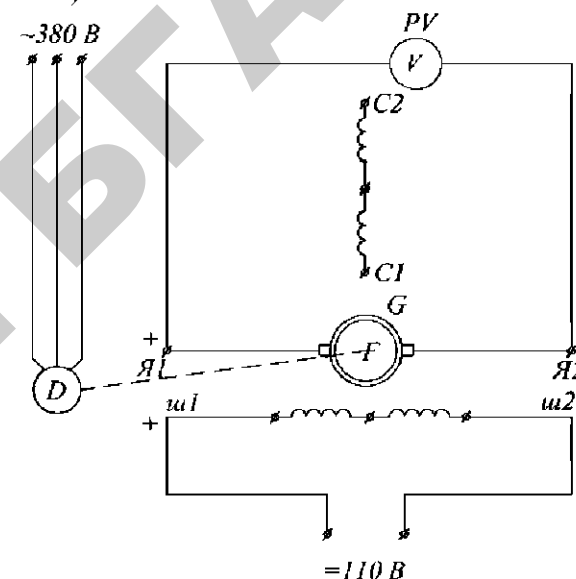


Рис. 13.11. Установка щеток на нейтраль методом наибольшего напряжения генератора

Данное положение щеток будет соответствовать установке их в нейтральной зоне.

Когда щетки находятся в нейтральной зоне, ветви, с которых в данный момент снимается напряжение, находятся в поле одной полярности и пересекают наибольшее магнитное поле. В них в данный момент индуцируется максимальная ЭДС, которая снимается этими щетками.

2. Метод двигателя.

Включив машину двигателем с одной параллельной обмоткой, замеряют скорость вращения. Затем, не меняя подведенного напряжения и тока возбуждения, изменяют направление вращения машины.

При установке щеток в нейтральной зоне скорость вращения сохраняется вследствие того, что при установке щеток на геометрическую нейтраль взаимодействие полей полюсов и ротора не изменяется.

3. Индуктивный метод.

К обмотке возбуждения подводится ток от постороннего источника низкого напряжения, а к зажимам якоря подключается чувствительный милливольтметр (рис. 13.12).

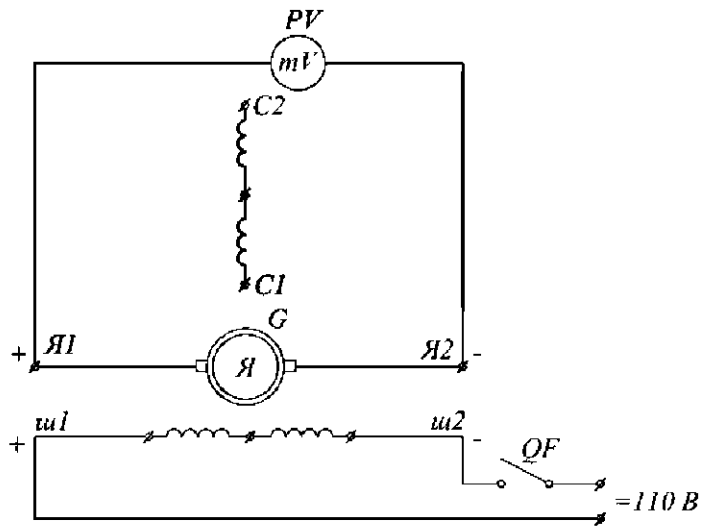


Рис. 13.12.

При замыкании и размыкании тока возбуждения в якоре индуктируется напряжение, и стрелка милливольтметра отклоняется в ту или другую сторону в зависимости от положения щеток.

Щетки передвигаются до тех пор, пока при включении и отключении обмотки возбуждения стрелка милливольтметра в цепи якоря не перестанет отклоняться или размах колебания ее достигнет минимального значения. Данное положение щеток будет соответствовать установке их в нейтральной зоне.

При положении щеток на нейтральной линии в частях ветвей, расположенных по разную сторону от оси полюсов, индуктируются ЭДС противоположных направлений. Суммарная ЭДС каждой ветви равна нулю.

При смещении щеток с нейтрали вольтметр зарегистрирует наличие небаланса ЭДС в ветвях.

Снятие внешней характеристики генератора со смешанным возбуждением

Для выполнения этого пункта необходимо собрать машину генератором. Для нагрузки включить ламповый реостат. В качестве первичного двигателя генератора использовать асинхронный двигатель переменного тока.

Схему испытаний составить и собрать самостоятельно. Данные испытаний занести в табл. 13.1.

Таблица 13.1

№	Данные испытаний						
	1	2	3	4	5	6	7
(а)							
(в)							

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Схема соединений обмоток исследуемой машины постоянного тока в генераторном режиме и режиме двигателя.
3. Схемы, краткое описание и результаты проделанных опытов.

Контрольные вопросы:

1. Каковы конструктивные особенности последовательной и параллельной обмоток возбуждения машины постоянного тока? Чем обуславливается эта разница?
2. Какой порядок чередования главных полюсов в машинах постоянного тока?
3. К каким явлениям в работе машины приводит нарушение правильного чередования полюсов?
4. Для чего служат последовательная и параллельная обмотки возбуждения в машинах постоянного тока со смешанным возбуждением?

5. Методы проверки правильности включения последовательной обмотки возбуждения по отношению к параллельной? На каком принципе основаны эти методы?

6. Методы проверки правильности установки щеток на нейтраль. Объяснить, на каких принципах основаны эти методы.

Лабораторная работа № 14

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ДАННЫХ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: восстановить номинальные данные асинхронного электродвигателя машины при утрате его паспорта.

Студент должен знать: параметры, относящиеся к номинальным данным трехфазного асинхронного электродвигателя и критерии, их определяющие, методики по восстановлению номинальных данных.

уметь: экспериментальным путем восстанавливать номинальные параметры асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Общие сведения

В ремонтной и эксплуатационной практике нередко встречаются асинхронные двигатели, паспорта которых утеряны и требуют восстановления.

На паспортах приводятся следующие основные данные этих электрических машин:

- тип (модификация) машины;
- номинальная мощность (P_n), кВт;
- номинальное напряжение* (U_n), В;
- номинальный ток* (I_n), А;
- номинальная частота вращения ротора (n_2), мин⁻¹;
- номинальная частота тока (f), Гц;
- схема соединения обмоток (Y/Δ);

Измерение сопротивления обмотки статора АД

При измерении сопротивления фазных обмоток статора (R_x) следует воспользоваться мостом постоянного тока P-333. Методика измерения указана на крышке прибора. Измерения R_x провести для всех трех фаз. Определить среднесрифметическое значение. Данные измерений и расчетов свести в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Результаты определения сопротивления обмоток фаз постоянному току

Обмотки фаз	A	B	C	Среднее значение
Сопротивление R_x , Ом				

В современных машинах (АИР, 4А, АИ, 5А, 6А и др.) нередко фазные обмотки статора имеют внутреннее соединение в «звезду» или «треугольник» (при эксперименте соединения обмоток задается преподавателем), и в коробке на щитке имеются только три вывода. В таких случаях сопротивления обмоток фаз А, В и С (R_a , R_b и R_c) определяются по замеренным сопротивлениям обмоток между выводами С1–С2– R_{ab} ; С2–С3– R_{bc} ; С3–С1– R_{ca} .

В случае соединения обмоток в Y, когда $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$, сопротивление обмоток фаз

$$R_a = R_b = R_c = 0,5R, \quad (14.1)$$

Когда $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$, обмотки соединены в Δ. В этом случае сопротивление обмоток фаз

$$R_a = R_b = R_c = 1,5R. \quad (14.2)$$

Среднее значение сопротивления одной фазы R_x привести к условной рабочей температуре двигателя 75 °С по формуле:

$$R_{75} = R_{20}(1 + \alpha(75 - 20)), \quad (14.3)$$

где α – температурный коэффициент материала обмотки, для меди приблизительно равен 0,004;

t °С – температура обмотки при измерении (принять по термометру для окружающей среды).

Определение номинального напряжения

Номинальное напряжение машины находится в прямой зависимости от электрической прочности ее изоляции, вместе с тем оно также увязывается с величиной магнитного потока, протекающего в магнитной системе машины, которая, в свою очередь, имеет насыщение. Поэтому для определения U_n требуется характеристика холостого хода данного двигателя (зависимость $I_0 = f(U_0)$).

Для проведения эксперимента следует составить на черновом листе схему испытания асинхронного двигателя на холостом ходу, с учетом схемы, приведенной на рис. 14.1.

После проверки ее преподавателем, собрать установку. При сборке обращать внимание на соответствие используемых приборов роду тока и пределам измеряемых величин. Затем, после проверки преподавателем собранной схемы, включить ее и снять зависимости I_0 , $P_0 = f(U_0)$. Результаты занести в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Результаты снятия зависимости $P_0 = f(U_0)$

U_0 , В	160	180	200	220	240	260	280	300
I_0 , А								
P_0 , Вт								

В таблице

$$P_0 = P_a + P_b + P_c,$$

где P_a , P_b , P_c – показания ваттметров соответственно фаз А, В, С, кВт.

На основании данных табл. 14.2 построить зависимость $I_0 = f(U_0)$.

Перпендикуляр, опущенный примерно из середины области перегиба кривой зависимости $I_0 = f(U_0)$ на ось абсцисс (U_0), отсекает величину, близкую к номинальному напряжению машины U_n . По-

сколькx шкала стандартных напряжений известна, экспериментально полученное напряжение $U_{жк}$ округляется до ближайшего номинального значения U_n . По кривой (рис. 14.2), для U_n находится ток холостого хода $I_{оф}$.

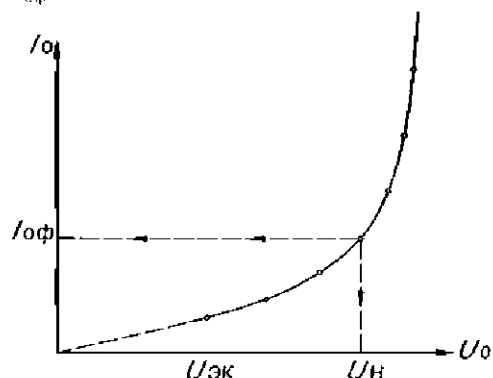


Рис. 14.2. Характеристика холостого хода асинхронного двигателя

Определение номинального тока

Номинальный ток любой электрической машины (в том числе и АД) определяет допустимую температуру нагрева ее изоляции ($T_{доп}$, °С).

Особенностью электрических машин является тесное конструктивное сочетание металлов и изоляции, то есть материалов, имеющих резко различные тепловые характеристики. В то время как металлы сохраняют свои рабочие свойства при температурах до 400–500 °С и выше, верхний предел допустимого нагрева изоляционных материалов, применяемых в электромашиностроении, в зависимости от класса их нагревостойкости составляет 90–180 °С. В настоящее время в электрических машинах применяются изоляционные материалы классов нагревостойкости *E*, *B* и *F* (ГОСТ 8865-70). Материалы класса *H* используются значительно реже; материалы классов нагревостойкости *Y* и *A* в современных электрических машинах практически не применяются. В последние годы разработаны изоляционные материалы с допустимой рабочей температурой 200–240 °С. Однако они находят применение лишь в машинах специального назначения.

Диэлектрические свойства изоляционных материалов с течением времени ухудшаются. При длительной эксплуатации изоляция усы-

хает, уменьшается ее механическая прочность, снижается пробивное напряжение. Этот процесс называется старением изоляции. Интенсивность старения во многом зависит от температуры. Чем выше рабочая температура изолированного изделия, тем быстрее происходит старение и уменьшается срок службы изоляции. При нормировании допустимого нагрева частей электрической машины исходят из того, чтобы соприкасающаяся с ними или расположенная в непосредственной близости от них изоляция могла выполнять свои функции в течение расчетного срока эксплуатации машины. Поэтому предельно допустимый нагрев частей электрической машины зависит от класса нагревостойкости изоляции.

Нагрев частей электрической машины может быть определен расчетным путем на стадии проектирования или экспериментально во время тепловых испытаний готовых машин. Измерение температуры частей электрической машины в процессе ее эксплуатации является способом контроля нормальной работы машины. Для учета влияния условий, в которых работают машины, стандарт устанавливает не абсолютную допустимую температуру ее частей, а превышение их температуры над температурой охлаждающей среды при определенном атмосферном давлении. Температура охлаждающей газообразной среды принимается равной 40 °С, а давление регламентируется местом эксплуатации машины на высоте не более 1000 м над уровнем моря.

В соответствии со стандартом температура $T_{доп}$, °С установлена для классов изоляции: *Y* – 90, *A* – 105, *E* – 120, *B* – 130, *F* – 155, *H* – 180, *C* > 180.

Если измерение температуры машины производится термометром, то превышение температуры над температурой окружающей среды ($t_{доп}$, °С), измеренной в наиболее нагретой доступной ее точке, не должно быть более для классов изоляции (ГОСТ 183-74):

$$A - 65 \text{ } ^\circ\text{C}, E - 80 \text{ } ^\circ\text{C}, B - 90 \text{ } ^\circ\text{C}, F - 110 \text{ } ^\circ\text{C}, H - 135 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура охлаждающей среды $T_{охл.ср}$ стандартом установлена 40 °С.

Нагрев изоляции обмотки двигателя в первую очередь зависит от протекающего по ней тока. Чем больше ток, тем больше потери, тем больше нагрев. Следовательно, для определения I_n необходимо

провести опыт короткого замыкания, а также опыт по снятию зависимости нагрева двигателя от величины тока и провести требуемые расчеты.

Опыт короткого замыкания проводится для определения активного сопротивления обмотки R_k при заторможенном роторе. Схема эксперимента остается прежней, как для опыта холостого хода, однако следует проверить соответствие приборов ожидаемым величинам. (При эксперименте электрическая машина быстро нагревается, поэтому опыт следует проводить как можно быстрее (не более 10 секунд).)

Чтобы ток короткого замыкания не достиг чрезмерной величины, напряжение источника (U_k), подводимое при испытании к асинхронной машине, должно быть понижено (по сравнению с номинальным) так, чтобы величина тока статора была равна:

$$I_{кф} = 2 I_{оф}, \quad (14.4)$$

где $I_{оф}$ – ток холостого хода при номинальном напряжении, полученный по кривой зависимости $I_{оф} = f(U_o)$, А.

*При определении фазных токов следует учитывать схему соединения обмоток.

Результаты эксперимента и расчетов занести в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Результаты опыта короткого замыкания

Мощность, потребляемая электродвигателем при токе $I_{кф}$	Ток короткого замыкания	Напряжение короткого замыкания	Активное сопротивление обмотки фазы при температуре 20 °С
P_k	$I_{кф}$	$U_{кф}$	R_k
кВт	А	В	Ом

где P_k – мощность, потребляемая двигателем при токе $I_{кф}$ в опыте короткого замыкания, кВт;

$$P_k = P_a + P_b + P_c; \quad (14.5)$$

$R_{к20}$ – активное сопротивление обмотки фазы, которое находится по данным опыта короткого замыкания, Ом;

$$R_{к20} = \frac{P_k}{m I_{кф}^2}, \quad (14.6)$$

где m – число фаз.

Полученная величина R_k приводится к 75 °С по выражению (14.3). Для построения кривой нагрева асинхронного двигателя, на его зажимы подается определенное в п. 14.3 номинальное напряжение (U_n). Электродвигатель лампами нагрузки 7 (грубо) и реостатом в цепи возбуждения машины постоянного тока 8 (плавно) загружается так, чтобы фазный ток по амперметру $PA1$ (см. рис. 14.1) в обмотках статора составил величину $I_{ф} = I_{кф}$. При этом следует учитывать, как включен в схему измерения амперметр и что $I_{ф}$ зависит от схемы соединения обмоток двигателя (Y или Δ). Ток $I_{ф}$ в процессе эксперимента должен оставаться неизменным.

Нагрев обмотки двигателя определяется с помощью термистора, смонтированного на дно паза статора в его центр, туда, где нагрев изоляции обмотки наибольший.

С изменением температуры двигателя меняется сопротивление термистора – R_T , которое изменяется мостом постоянного тока – Р-333. Исходя из полученного сопротивления, по кривой (рис. 14.3) определяется температура нагрева T °С.

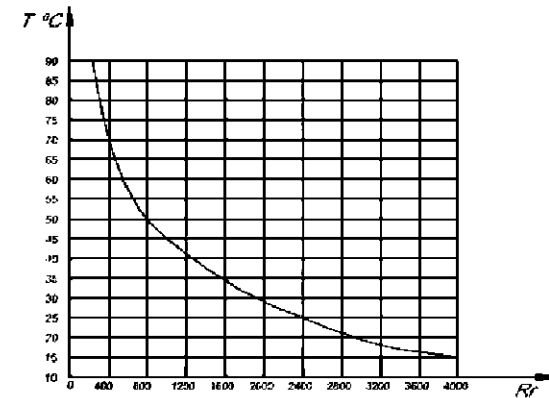


Рис. 14.3. Зависимость сопротивления термистора от температуры нагрева

$$R_T = f(T^{\circ}C), \text{ Ом}$$

При опыте измерения температуры (сопротивления) производится через равные промежутки времени – 5–10 мин. Процесс нагрева можно считать установившимся, если 3–4 последних замера дадут изменение температуры не более чем на 1 °С. (Для ускорения опыта допускается после 3-х или 4-х замеров последующие температуры получить по построению. Методика его приведена на стенде.)

Данные эксперимента и расчетов занести в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Данные эксперимента										
Условия определения эксперимента: $U_{\text{нф}}$ _____ В, $I_{\text{ф}}$ _____ А.										
Величины	Ед. изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	...
τ	мин									
R_T	Ом									
T	°С									
$T_{\text{охл.ср}}$	°С									
t	°С									

где $T_{\text{охл.ср}}$ – температура охлаждающей среды, °С, берется по термометру;

t – перегрев над температурой окружающей среды, определяется из выражения (°С):

$$t = T - T_{\text{охл.ср}} \quad (14.7)$$

На основании полученных данных строится кривая зависимости перегрева изоляции обмотки над охлаждающей средой (t , °С) от времени нагрева обмотки (τ , мин) – $t = f(\tau)$. Она имеет характер, приведенный на рис. 14.4. По ней определяется установившийся перегрев обмотки $t_{\text{уст}}$ над температурой охлаждающей среды. Допустимая температура перегрева обмотки равна:

$$t_{\text{доп}} = T_{\text{доп}} - T_{\text{охл.ср}} \quad (14.8)$$

где $T_{\text{доп}}$ и $T_{\text{охл.ср}}$ – соответственно допустимые по стандарту температуры нагрева изоляции машин и охлаждающей среды.

Величина $t_{\text{доп}}$ определяет номинальную величину тока нагрузки двигателя $I_{\text{нф}}$ для соответствующего класса изоляции.

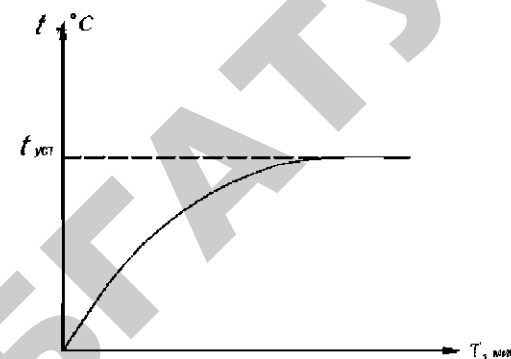


Рис. 14.4. Кривая $t = f(\tau)$ – нагрева изоляции обмотки АД

Перегревы зависят от потерь: P^* – в стали магнитопровода и $ml^2 R_{\text{к75}}$ – в обмотках асинхронного двигателя. Тогда:

$$t_{\text{уст}} = k(P^* + ml_{\text{кф}}^2 \cdot R_{\text{к75}}), \quad (14.9)$$

и

$$t_{\text{доп}} = k(P^* + ml_{\text{нф}}^2 R_{\text{к75}}), \quad (14.10)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Отсюда:

$$k = \frac{t_{\text{уст}}}{P^* + ml_{\text{кф}}^2 R_{\text{к75}}} \quad \text{или} \quad (14.11)$$

$$k = \frac{t_{\text{доп}}}{P^* + ml_{\text{нф}}^2 R_{\text{к75}}}. \quad (14.12)$$

Коэффициент пропорциональности имеет одинаковое значение для перегревов обмотки АД при $t_{\text{доп}}$ и при $t_{\text{уст}}$. Поэтому расчет номинального фазного тока ($I_{\text{нф}}$) выполняется по выражению, полученному при совместном решении выражений (14.11 и 14.12).

$$I_{\text{нф}} = \sqrt{\frac{t_{\text{доп}}(\Delta P^* + m I_{\text{кф}}^2 R_{\text{к75}}) - t_{\text{уст}} \Delta P^*}{t_{\text{уст}} m R_{\text{к75}}}}, \text{ А}, \quad (14.13)$$

где ΔP^* – потери механические и в стали магнитопровода:

$$\Delta P^* = P_0 - m I_{\text{оф}}^2 R_{\text{к75}}, \text{ Вт}, \quad (14.14)$$

где P_0 – мощность холостого хода при номинальном напряжении, полученная по данным опыта холостого хода, Вт;

m – число фаз;

$t_{\text{доп}}$ – допустимая температура перегрева, для изоляции класса (для класса А – $t_{\text{доп}} = 65^\circ\text{C}$).

Следовательно, номинальный ток асинхронного двигателя ($I_{\text{н}}$) будет равен: при схеме соединения фазных обмоток в Y – $I_{\text{нл}} = I_{\text{нф}}$, при схеме Δ :

$$\Delta - I_{\text{нл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{нф}}, \quad (14.15)$$

Определение мощностей, $\cos\varphi$, КПД и номинальной частоты вращения

Номинальная мощность асинхронного двигателя ($P_{\text{н}}$) – это мощность, которую он имеет на своем валу. Она определяется по формуле:

$$P_{\text{н}} = m U_{\text{нф}} I_{\text{нф}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (14.16)$$

где m – количество фаз, шт;

$U_{\text{нф}}$ – номинальное фазное напряжение, В;

$I_{\text{нф}}$ – номинальный фазный ток, А;

$\cos\varphi_{\text{н}}$ – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_{\text{н}}$ – номинальный коэффициент полезного действия.

Номинальная мощность – $P_{\text{н}}$, коэффициент мощности – $\cos\varphi_{\text{н}}$, коэффициент полезного действия (КПД) – $\eta_{\text{н}}$ и частота вращения ротора – $n_{\text{н}}$ у асинхронного двигателя определяется при его нагрузке номинальным током ($I_{\text{н}}$) при номинальном напряжении ($U_{\text{н}}$), что

требует проведения эксперимента для снятия нагрузочных характеристик и проведения необходимых расчетов.

Для выполнения эксперимента студенты самостоятельно составляют схему испытания асинхронного двигателя с учетом схемы, приведенной на рис. 14.1. После проверки ее преподавателем собирают установку и после повторной проверки собранной схемы, с разрешения преподавателя, включают ее в сеть.

Автотрансформатором $TV1$ по вольтметру $PV2$ устанавливается номинальное напряжение, которое в процессе всего эксперимента поддерживается строго постоянным. Генератором постоянного тока по амперметру $PA1$ нагружают асинхронный двигатель до номинальной величины ($I_{\text{н}}$) с помощью постоянной нагрузки 7 (грубо) и реостата в цепи возбуждения генератора 8 (плавно). Загрузку асинхронного двигателя так же, как и напряжение в течение всего эксперимента поддерживают постоянной – $I_{\text{н}} = \text{const}$. Данные измерений нижеуказанных параметров заносятся в табл. 14.5.

Таблица 14.5

Экспериментальные данные параметров ЭД под нагрузкой

Номинальное напряжение электро-двигателя	Номинальный ток электро-двигателя	Мощность фазы А при нагрузке	Мощность фазы В при нагрузке	Мощность фазы С при нагрузке	Напряжение генератора	Ток генератора
$U_{\text{н}}$	$I_{\text{н}}$	$P_{\text{а}}$	$P_{\text{в}}$	$P_{\text{с}}$	$U_{\text{г}}$	$I_{\text{г}}$
В	А	кВт	кВт	кВт	В	А

Номинальная частота вращения ротора ($n_{\text{н}}$) асинхронного двигателя – это частота, которую имеет ротор, при питании его номинальным напряжением, при номинальном токе нагрузки. Она определяется тахометром на валу асинхронного двигателя, когда на вольтметре $PV1$ напряжение $U = U_{\text{н}}$ и на амперметре $PA1$ ток $I = I_{\text{н}}$.

Полная мощность асинхронного двигателя находится путем расчета по формуле:

$$S = m U_{\text{нф}} I_{\text{нф}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВ}\cdot\text{А}. \quad (14.17)$$

Потребляемая асинхронным электродвигателем мощность, при любом токе его нагрузки по показаниям ваттметров, равна:

$$P_1 = P_a - P_b + P_c, \text{ кВт}, \quad (14.18)$$

где P_a, P_b, P_c – мощности соответственно фаз А, В и С, кВт.

Номинальный коэффициент мощности показывает (рис. 14.5), какую часть полной мощности S потребляет двигатель при номинальной нагрузке ($P_{1н}$) и какая возвращается в сеть.

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S}. \quad (14.19)$$

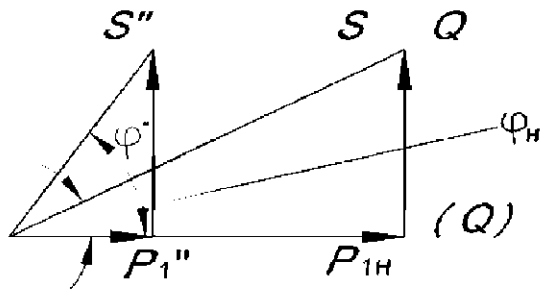


Рис. 14.5. Треугольник мощностей

Из курса «Электрические машины» известно, что для конкретного сердечника машины величина реактивной мощности Q , идущая на создание магнитного потока Φ , величина постоянная, так как сталь обладает насыщением. Следовательно, поток Φ зависит от размеров магнитопровода. Отсюда $Q = const$. Таким образом, из треугольника мощностей следует, что при снижении нагрузки на валу двигателя (активной мощности) $P_1 (P < P_1)$ увеличивается угол $\varphi (\varphi'' > \varphi_n)$ и понижается $\cos\varphi (\cos\varphi'' < \cos\varphi_n)$.

Суммарная мощность потерь в асинхронном двигателе с достаточной для практики точностью можно подсчитать по выражению:

$$\sum \Delta P = (\Delta P^* + \Delta P_{нк} + \Delta P_{доб}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (14.20)$$

где $\Delta P_{доб}$ – добавочные потери (по данным практики, можно принять равными $0,01 P^*$), кВт;

$\Delta P_{нк}$ – потери в обмотке двигателя при номинальной нагрузке, равные мощности при опыте к. з. – ΔP_k , кВт.

В случае если потери ΔP_k были сняты не при номинальном токе $I_{нф}$, а при токе $I_{кф}$, их следует привести к номинальному по выражению:

$$\Delta P_{нк} = \Delta P_k \cdot \left(\frac{I_{нф}}{I_{кф}}\right)^2, \text{ кВт}. \quad (14.21)$$

Мощность на валу двигателя (P_n – номинальная мощность):

$$P_n = P_2 = P_1 - \sum \Delta P, \text{ кВт}. \quad (14.22)$$

Рассчитанная по формуле (14.22) величина P_n должна быть близка к найденной по формуле (14.16).

Коэффициент полезного действия машины определяется по выражению:

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1}. \quad (14.23)$$

Данные эксперимента и расчетов сводятся в табл. 14.6.

В каталоге по полученным значениям параметров принимается (с учетом его серии) ближайший стандартный асинхронный двигатель, данные которого заносятся в ту же табл. 14.6.

Таблица 14.6

Данные экспериментов и расчетов по восстановлению номинальных параметров асинхронного электродвигателя

Параметры	Тип двигателя	P_n кВт	U_n В	I_n А	$\cos\varphi$ о. с.	η о. с.	n мин ⁻¹	f Гц
По ГОСТ								
По эксперим.								
% ошибки								

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. В соответствии с порядком выполнения работы привести все схемы опытов, данные экспериментов, сделанные отчеты и их результаты.
3. По полученным результатам экспериментов и отчетов для каждого пункта сделать анализ и выводы. Дать общее заключение.

Контрольные вопросы:

1. Назовите паспортные данные асинхронного двигателя.
2. Объясните понятие «номинальная мощность АД».
3. Объясните понятие «номинальный ток АД».
4. Объясните понятие «номинальное напряжение АД».
5. Объясните понятие «номинальная частота вращения ротора АД».
6. Объясните понятие «номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi$ АД».
7. Объясните понятие «номинальный коэффициент полезного действия η (КПД) АД».
8. Объясните, как влияет температура нагрева изоляции АД на его номинальный ток, каковы допустимые значения нагрева и перегрева изоляции.
9. Цель проведения опыта короткого замыкания и снятия кривой нагрева асинхронного двигателя?
10. Для чего проводится опыт холостого хода?
11. Как определяются величины U_n , I_n , P_n , n_n , $\cos\varphi_n$, η_n ?

Лабораторная работа № 15

ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПОСЛЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Цель работы: изучить методику испытаний асинхронного двигателя после ремонта.

Студент должен знать: объем основных испытаний трехфазного асинхронного электродвигателя в соответствии с ГОСТ 183-74;

уметь: пользоваться испытательным оборудованием, проводить контрольные испытания для трехфазного асинхронного электродвигателя после капитального ремонта.

Общие сведения

В соответствии с ГОСТ 183-74 машины электрические вращающиеся должны подвергаться приемочным, приемо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям.

Асинхронные двигатели после капитального ремонта подвергаются приемо-сдаточным испытаниям в объеме ГОСТ 183-74 и по методикам, изложенным в ГОСТ 7217-87.

Цель испытаний – выявление допущенного при ремонте брака, снятие характеристик и определение параметров, имеющих большое значение при эксплуатации электрических машин.

В соответствии с ГОСТ 183-74, асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором подвергаются следующим приемо-сдаточным испытаниям:

– внешний осмотр, проверка маркировки обмоток, качества сборки;

измерение сопротивления изоляции обмоток от корпуса и относительно друг друга;

измерение сопротивления обмоток постоянному току в холодном состоянии;

– испытание электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжением относительно корпуса и (при возможности) между обмотками разных фаз;

испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность повышенным напряжением;

измерение силы тока и потерь на холостом ходу двигателя;

– определение силы тока и потерь короткого замыкания при токе близком к номинальному;

проверка упаковки и комплектности электродвигателя, необходимой сопроводительной документации.

В случаях наличия сомнений в качестве ремонта механической части электродвигателя проводится дополнительное испытание при повышенной частоте вращения ротора.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с объемом и методиками испытаний асинхронного двигателя после ремонта в соответствии с ГОСТ 183-74.
2. Провести контрольные испытания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
3. Сделать выводы о пригодности асинхронного двигателя к эксплуатации.

Внешний осмотр, проверка качества сборки и комплектности

Цель данного испытания – проверка отремонтированного двигателя на укомплектованность необходимыми узлами, деталями и всеми метизами, предусмотренными конструкцией.

Качество сборки проверяется по легкости вращения вала от руки, по соответствию состояния машины нормам ПТЭ, стандарту и техническому паспорту. При обнаружении во время осмотра каких-либо дефектов, продолжение испытаний двигателя запрещается.

Если на панель клеммной коробки двигателя выведены все шесть концов его обмоток, выполняется проверка правильности их маркировки и соединения в схему.

Измерение сопротивления изоляции обмоток от корпуса и относительно друг друга

Испытание проводится с целью проверки качества изоляции.

Для машин напряжением 380/220 В измерение сопротивления изоляции обмоток выполняется мегомметром напряжением 1000 В. Величины сопротивления изоляции обмоток статоров машин переменного тока после капитального ремонта, в соответствии с требованиями ПТЭ, должны быть в практически холодном состоянии (10–30 °С) не менее 1 МОм. После пропитки обмоток (в зависимости от класса нагревостойкости изоляции): 4 МОм для – А и В, 8 МОм – для I/. По окончании измерений сопротивления каждую электрически независимую цепь следует разрядить на заземленный корпус.

Причинами пониженного сопротивления изоляции обмоток относительно указанных норм могут быть: плохая пропитка, повышенная влажность, загрязненность, механические повреждения, неправильный подбор изоляционных материалов и т. п.

Определение сопротивления изоляции проводится мегомметром относительно каждой фазы и корпуса и между фазами. Данные замеров занести в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Данные замеров сопротивления изоляции						
Сопротивление изоляции обмоток, МОм	Статор					
	А-К	В-К	С-К	А-В	В-С	С-А

По полученным значениям необходимо сделать вывод о состоянии изоляции.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току в практически холодном состоянии

Проводится непосредственно на выводах обмоток асинхронного двигателя мостом постоянного тока (схема измерения приведена на

рис. 15.1). Можно методом вольтметра и амперметра. Разница между температурой окружающей среды и обмоток должна быть не более +3 °С.

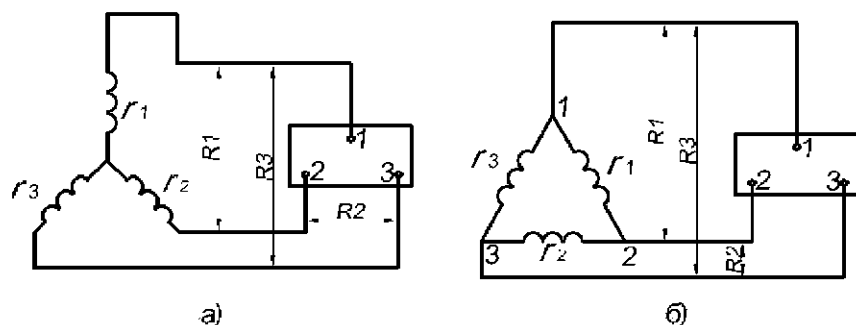


Рис. 15.1. Схема для определения сопротивления обмотки мостом постоянного тока: а) – при схеме соединения обмоток Δ; б) – при схеме соединения обмоток Y

Цель измерения – сравнить полученные величины сопротивлений обмоток с расчетными или стандартными для данной машины; сделать заключение о ее пригодности к эксплуатации или установить причины расхождения. Причинами отклонений могут быть: плохая припайка или сварка соединений в обмотках, плохая затяжка контактов выводов, крупные витковые замыкания, отклонения сечений обмоточных проводов от расчетных и т. п.

Полученные значения замеров не должны отличаться от расчетных более чем на ±5 %. Для большей достоверности результатов замеры сопротивлений для каждой обмотки делаются не менее трех раз, при различных величинах тока, с определением средней. Различие средних сопротивлений обмоток разных фаз не должно быть более 1 %, в противном случае проводятся повторные измерения.

В современных машинах (АИР, 4А и др.) нередко фазные обмотки статора имеют внутреннее соединение в «звезду» или «треугольник», тогда в коробке на щитке имеются только три вывода. В этих случаях сопротивления обмоток фаз А, В и С (R_a , R_b и R_c) определяются по замеренным сопротивлениям обмоток между выводами $C_1-C_2-R_{ab}$, $C_2-C_3-R_{bc}$, $C_3-C_1-R_{ca}$.

При соединении обмоток в «звезду» (Y), так как между выводами $C_n - C_n$ две обмотки соответствующих фаз соединены последовательно, можно записать:

$$R_{ab} = R_a + R_b, \quad R_{bc} = R_b + R_c, \quad R_{ca} = R_c + R_a. \quad (15.1)$$

Решая уравнения относительно неизвестных R_a , R_b , R_c , получим:

$$R_a = \frac{R_{ca} + R_{ab} - R_{bc}}{2}; \quad R_b = \frac{R_{ca} + R_{bc} - R_{ab}}{2}; \quad R_c = \frac{R_{ca} + R_{cb} - R_{ab}}{2}. \quad (15.2)$$

В частном случае, когда $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$, имеем:

$$R_a = R_b = R_c = 0,5R. \quad (15.3)$$

При соединении обмоток в треугольник (Δ), так как между выводами $C_n - C_n$ обмотки соединены в две ветви, причем в одной из этих ветвей – сопротивление обмотки одной фазы, в другой – сопротивление двух последовательно соединенных обмоток оставшихся фаз, можно записать:

$$R_{ab} = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b + R_c}} = \frac{R_a(R_b + R_c)}{R_a + R_b + R_c}, \quad (15.4)$$

$$R_{bc} = \frac{1}{\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_a + R_c}} = \frac{R_b(R_a + R_c)}{R_a + R_b + R_c}, \quad (15.5)$$

$$R_{ca} = \frac{1}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_b + R_a}} = \frac{R_c(R_b + R_a)}{R_a + R_b + R_c}. \quad (15.6)$$

Решая совместно уравнения (15.4), (15.5), (15.6), получим сопротивления обмоток каждой из фаз:

$$R_a = 0,5 \cdot \left[\frac{4R_{bc}R_{ca}}{R_{bc} + R_{ca} - R_{ab}} - (R_{bc} + R_{ca} - R_{ab}) \right], \quad (15.7)$$

$$R_b = 0,5 \cdot \left[\frac{4R_{ab}R_{ca}}{R_{ab} + R_{ca} - R_{bc}} - (R_{ab} + R_{ca} - R_{bc}) \right], \quad (15.8)$$

$$R_c = 0,5 \cdot \left[\frac{4R_{ab}R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} - R_{ca}} - (R_{ab} + R_{bc} - R_{ca}) \right]. \quad (15.9)$$

В частном случае, когда $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$,
имеем: $R_a = R_b = R_c = 1,5R$. (15.10)

Испытание электрической прочности изоляции обмоток электрических машин повышенным напряжением

Цель испытания – проверка надежности изоляции обмоток в целом и каждой фазы относительно корпуса и между собой.

Проверка проводится не только у асинхронных двигателей с замкнутой изоляцией, но также и у машин с изоляцией обмоток, оставленных для дальнейшей эксплуатации.

При внутреннем соединении обмоток машины в схему (Y или Δ у серий АИР, 4А) наружу выведены только 3 вывода фазных обмоток. Для испытания они соединяются между собой, и вся обмотка считается одной электрической цепью. К этим концам прикладывается испытательное напряжение от контакта 3 (рис. 15.2). Если же на клеммную панель выведены все 6 концов фазных обмоток, испытательное напряжение подводится к выводу одной из них. Две другие фазные обмотки соединяются между собой и с заземленным корпусом – проверяется электрическая прочность изоляции первой обмотки относительно заземленного корпуса 7 и других обмоток машины 6. Затем, поочередно переключая испытательное напряжение на выводы обмоток оставшихся фаз, аналогично проверяют их изоляцию.

В том случае, если изоляция обмоток АД находится в неудовлетворительном состоянии, то происходит изменение потребляемого тока или нагрев изоляции, либо ее пробой или перекрытие. При последних двух результатах испытания автоматический выключатель QF схемы отключает питание высоковольтного трансформатора TV2.

Указанные испытания выполняют при неподвижном положении машины, как правило, в практически холодном состоянии. Испытательное напряжение должно быть синусоидальным, с частотой 50 Гц и отвечать нормам ГОСТ 183-74, приведенным в табл. 15.2.

Величины испытательных напряжений электрических машин

Характеристика электромашины или ее части	Испытательное напряжение
1. Электродвигатели мощностью менее 1 кВт на номинальное напряжение 110 В.	1. 500 В плюс двукратное номинальное напряжение.
2. Электродвигатели мощностью от 1 кВт и выше на номинальное напряжение ниже 100 В.	2. 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение.
3. Электродвигатели мощностью до 1000 кВт на номинальное напряжение свыше 100 В*	3. 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В

* В табл. 15.2. выделено значение испытательного напряжения для асинхронных машин с номинальным напряжением 380/220 В.

Примечание. В случаях, когда электрическая машина, ремонтируется без смены старых обмоток, испытательное напряжение берется равным 130 % от номинального напряжения машины.

Испытание проводится на специальной высоковольтной установке по схеме, приведенной на рис. 15.2.

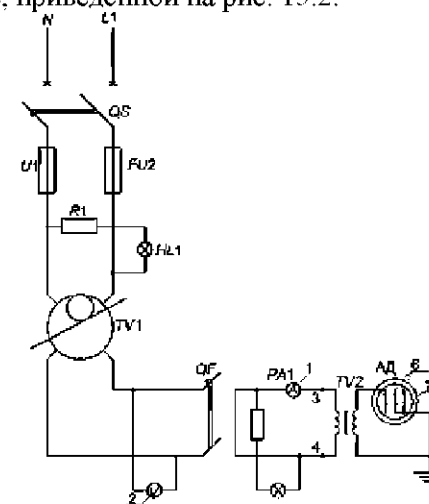


Рис. 15.2. Принципиальная схема установки для испытания электрической прочности изоляции обмоток:

1 – амперметр; 2 – вольтметр; 3 – контакт для подключения испытуемого объекта; 4 – заземляющий контакт; 5 – ручка автотрансформатора; 6 – обмотки АД; 7 – заземленный корпус АД

При выполнении этого вида испытания необходимо:

1. Изучить схему испытания и приборы. Собрать схему. При этом учесть, что рубильник QS , предохранители $FU1-FU2$, сигнальные лампы $HL1$ и $HL2$, автотрансформатор $TV1$, автоматический выключатель QF , амперметр 1 и вольтметр 2 уже смонтированы в схему. На панель стенда выведены: контакт 3 высоковольтного трансформатора $TV2$ и его заземленный контакт 4 , ручка трансформатора 5 .

2. Рубильником QS включить питание автотрансформатора $TV1$, загорается первая сигнальная лампа $HL1$ (зеленая). Ручкой 5 автотрансформатор $TV1$ устанавливается в исходное положение (начальное испытательное напряжение на вольтметре 2 не должно быть более $1/3$ его максимального значения). После чего автоматическим выключателем QF включается высоковольтный трансформатор $TV2$, загорается вторая сигнальная лампа $HL2$ (красная). Затем автотрансформатором $TV1$ напряжение плавно (в течение 10–15 с) повышается до испытательной величины. Выдерживается в течение 60 с (1 мин). Если при этом не происходит изменения потребляемого тока по амперметру, пробоя, перекрытия или нагрева изоляции, испытательное напряжение также плавно снижается до 30–35 % от максимального и отключается. Результат испытания считается удовлетворительным.

Причинами пробоя или других нарушений изоляции обмоток при испытании могут быть: неправильный подбор изоляционных материалов (по виду, толщине и т. п.), их качество, механические повреждения изоляции при ремонте, плохая пропитка и прочее.

3. Сделать заключение о состоянии изоляции обмоток.

Испытание межвитковой изоляции обмоток асинхронных двигателей на электрическую прочность повышенным напряжением

Целью испытания является проверка надежности изоляции между рядом лежащими витками обмоток.

Испытание проводится повышенным на 30 % напряжением на вращающейся в режиме холостого хода машине. В таких условиях электромашин, в соответствии с ГОСТ 183-74, выдерживается в течение 3 мин. Однако если ремонт двигателя был выполнен без замены изоляции, продолжительность сокращается до 1 мин.

При наличии или появлении короткого замыкания в витках меняется звук работы машины, может появиться дым, стрелки на амперметрах «прыгают» (нет установившегося значения). Такая машина немедленно отключается от сети питания, к работе она непригодна.

Причины витковых замыканий связаны с качеством изоляции обмоточных проводов (особенно если они проходили восстановление), с механическими повреждениями изоляции при изготовлении секций, укладке обмоток и т. п.

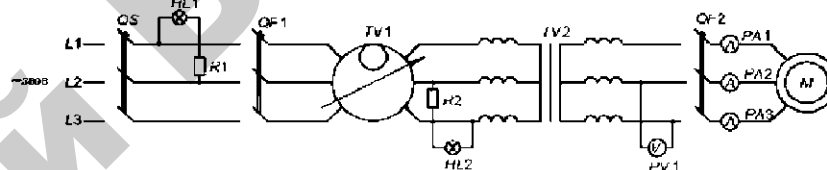


Рис. 15.3. Схема испытания межвитковой изоляции обмотки АД: M – асинхронный электродвигатель; $PA1-PA3$ – амперметры; $PV1$ – вольтметр; $TV1$ – регулировочный трансформатор; $TV2$ – повышающий трансформатор; QS – рубильник; $QF1, QF2$ – автоматические выключатели; $HL1$ – сигнальная лампа красная; $HL2$ – сигнальная лампа зеленая

При выполнении этого вида испытания необходимы следующие действия.

1. Для проведения эксперимента на стенде собирается экспериментальная схема, приведенная на рис. 15.3. (К работе приступать только после проверки схемы преподавателем!) Для повышения напряжения сети до нужной величины за автотрансформатором $TV1$ подключить повышающий трансформатор $TV2$.

2. Рубильником QS включить питание схемы, загорается сигнальная лампа $HL1$ (красная). Автоматическим выключателем $QF1$ включить автотрансформатор $TV1$, загорается сигнальная лампа $HL2$ (зеленая) и кнопкой управления установить его в исходное положение – вольтметр $PV1$ должен показывать номинальное напряжение. Пакетным выключателем $QF2$ включить асинхронный двигатель.

3. После того как машина развернется на холостом ходу до номинальной скорости вращения, кнопкой управления автотрансформатора $TV1$ поднять напряжение на 30 % выше номинального.

В таком положении работа асинхронного двигателя выдерживается в течение 1 мин в случае, если изоляция обмотки при капитальном ремонте не менялась. Если потребляемые фазные токи (по амперметрам PA1–PA3) стабильны, звук в работе машины остается ровным, нормальным, нет появления дыма – результат испытания считается удовлетворительным.

4. Кнопкой управления автотрансформатора напряжение (по вольтметру PVI) понизить до номинального значения. Пакетным выключателем QF2 отключить питание двигателя. Автоматом QF1 отключить питание автотрансформатора TV1. Рубильником QS отключить сеть.

5. Сделать заключение о состоянии межвитковой изоляции обмоток.

Измерение силы тока и потерь на холостом ходу двигателя

Цель испытания – определение качества ремонта электрической машины и ее параметров, имеющих большое значение в эксплуатации (в первую очередь, связанных с магнитной системой).

Правильность результатов опыта холостого хода в значительной степени зависит от качества электроэнергии источника питания. В связи с этим очень важно соблюдение следующих требований: подводимые к испытуемому электродвигателю линейные напряжения должны быть симметричными, кривая напряжения – синусоидальной, а частота тока – устойчивой.

При опыте холостого хода в цепи статора измеряются: линейные напряжения – $U_{\text{лн}}$, линейные токи – $I_{\text{лн}}$, мощность – $P_{\text{лн}}$, частота тока – f (если она неустойчива). Для получения результатов повышенной точности целесообразно использовать приборы со шкалами, отвечающими величинам измерений, а для определения мощности желательно использовать малокосинусные ваттметры, включенные во все три фазы. В частном случае допустимо измерение трехфазной мощности методом двух ваттметров.

Испытуемая машина включается на номинальное напряжение и до начала испытания (для прогрева) вращается (в зависимости от мощности) в течение 5–30 мин. Затем автотрансформатором напряжение поднимают до 130 % от $U_{\text{н}}$, снимают показания приборов и плавно понижают его до возрастания тока статора. Для раз-

личных значений напряжения делаются 9–11 промежуточных отсчетов (с фиксацией показаний; при $U_{\text{н}}$ показания снимаются обязательно). После этого двигатель отключается от сети и проводится замер омического сопротивления обмотки двигателя между двумя линейными выводами – $R_{\text{об}}$.

В тех случаях, когда система линейных напряжений несимметрична, действительной величиной фазного напряжения холостого хода U_0 считается их среднеарифметическое значение:

$$U_0 = (U_{\text{ахх}} + U_{\text{бхх}} + U_{\text{схх}}) / 3, \text{ В.} \quad (15.11)$$

По ряду причин (несимметрии напряжения и пр.) токи по фазам имеют различные значения. Поэтому за действительный ток холостого хода I_0 принимается среднее значение трех фаз:

$$I_0 = (I_{\text{ахх}} + I_{\text{бхх}} + I_{\text{схх}}) / 3, \text{ А.} \quad (15.12)$$

За действительные трехфазные потери холостого хода P_0 принимается величина, определенная по формуле:

$$P_0 = (P_{1\text{хх}} + P_{2\text{хх}}) / 3, \text{ кВт.} \quad (15.13)$$

По данным испытания определяется коэффициент мощности холостого хода ($\cos \varphi_0$):

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_0 I_0}. \quad (15.14)$$

Для более глубокого анализа состояния двигателя после ремонта потери холостого хода P_0 разделяют на потери в обмотках статора ($\Delta P_{\text{м}}$) и сумму потерь в стали ($\Delta P_{\text{ст}}$) механические ($\Delta P_{\text{мех}}$). Потери в фазных обмотках статора составляют:

$$\Delta P_{\text{м}} = 3 \cdot I_0^2 R_0 \cdot 10^{-3}, \text{ кВт,} \quad (15.15)$$

где R_0 – омическое сопротивление меди обмотки одной фазы двигателя, Ом, ($R_0 = 0,5 R_{0\Delta}$ при схеме обмоток Y и $1,5 R_{0\Delta}$ при схеме Δ).

Потери $P_{\text{м}}$ можно также определить из выражения:

$$\Delta P_{\text{м}} = 1,5 \cdot I_0^2 R_{0\Delta} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (15.16)$$

Зная потери от тока холостого хода в обмотке статора и подведенную к двигателю мощность P_0 , потери в стали и механические находят по формуле:

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = P_0 - \Delta P_M, \text{ кВт.} \quad (15.17)$$

По результатам опыта холостого хода строят кривые зависимости $I_0, P_0, \Delta P_M, \Delta P_{ст}, \Delta P_{мех}, \cos \varphi = f(U_0)$, которые сравниваются с кривыми – данными заводов-изготовителей.

Однако в ремонтной практике, чаще проводятся сравнения с заводскими данными следующих величин: сопротивления обмотки R_0 , тока I_0 и потерь P_0 холостого хода при номинальном напряжении. Указанные показатели (R_0, I_0, P_0) для асинхронных двигателей стандартом не нормированы. Однако отклонения значений силы тока от заводских допускаются только на 10 %, а значительный потерь холостого хода – на 15 %.

При больших отклонениях выше приведенных значений проводится дополнительный анализ причин, их вызвавших. Так, например, увеличение тока холостого хода при нормальных потерях холостого хода может быть следствием старения электротехнической стали; увеличенного воздушного зазора (при поверхностной проточке магнитопровода ротора); результатом сокращения числа витков, при укладке обмотки в пазы; недобора листов стали при перешихтовке сердечника; смещения ротора по отношению к статору и пр. Высокая неравномерность токов по фазам, при практически симметричной системе линейных напряжений, может вызываться: неравномерностью зазора по окружности статора (в частности, при установке ротора с прекосом); различным числом витков в обмотках фаз и т. п. Повышенные потери холостого хода, при нормальном токе холостого хода, чаще всего вызываются механическими причинами: повышенное трение в подшипниках, неправильная посадка вентилятора и т. п.

Ход выполнения испытания:

1) для проведения эксперимента на стенде собирается экспериментальная схема, приведенная на рис. 15.4. (К работе приступить только после проверки схемы преподавателем!)

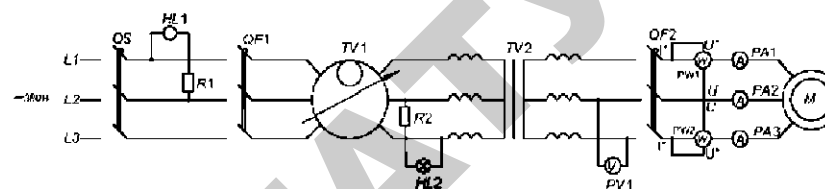


Рис. 15.4. Схема для определения тока и потерь в режимах холостого хода и короткого замыкания асинхронного двигателя:

M – асинхронный электродвигатель; $PA1$ – $PA3$ – амперметры, $PV1$ – вольтметр; $TV1$ – регулировочный трансформатор; $TV2$ – повышающий трансформатор; QS – рубильник; $QF1, QF2$ – автоматические выключатели; $PW1, PW2$ – ваттметры; $HL1$ – сигнальная лампа красная; $HL2$ – сигнальная лампа зеленая

Для повышения напряжения сети до нужной величины за автотрансформатором $TV1$ подключить повышающий трансформатор $TV2$. Ваттметры $PW1$ – $PW2$ включить на линейное напряжение, вольтметр $PV1$ – со свободными концами. После проверки преподавателем схему собрать;

2) рубильником QS включить питание схемы – загорается сигнальная лампа $HL1$ (красная). Автоматическим выключателем $QF1$ включить автотрансформатор $TV1$ – загорается сигнальная лампа $HL2$ (зеленая). Кнопкой управления установить его в исходное положение – вольтметр $PV1$ должен показывать номинальное напряжение. Пакетным выключателем $QF2$ включить асинхронный двигатель;

3) до начала испытания, с целью прогресса, электромашина вращается в течение 5 мин. После этого кнопкой управления автотрансформатора $TV1$ напряжение U_n поднять до максимальной величины, которую позволяет шкала вольтметра $PV1$. Снять в этом положении показания приборов $U_{axx}, U_{bxx}, U_{cxx}, I_{axx}, I_{bxx}, I_{cxx}, P_{axx}, P_{bxx}, P_{cxx}$ – первая точка отсчета. Данные записать в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Данные испытания ЭД на холостом ходу

№ коп-тр. точки	U_{axx}	U_{bxx}	U_{cxx}	I_{axx}	I_{bxx}	I_{cxx}	P_{axx}	P_{bxx}	P_{cxx}
	В	В	В	А	А	А	кВт	кВт	кВт

Кнопкой управления автотрансформатора *TV1* плавно понижать напряжение до начала возрастания токов обмотки статора. При этом для различных значений напряжения фиксируются 5–6 промежуточных точек отсчета, снимаются те же показания. Для $U_{н}$ показания снимаются обязательно. После окончания эксперимента пакетным выключателем *QF2*, автоматическим выключателем *QF1* и рубильником *QS* отключить электродвигатель от сети и провести замер омического сопротивления его обмотки между двумя выводами в клеммной коробке;

4) провести обработку полученных данных и построить зависимости $I_0, P_0, \cos\phi$ от напряжения $-f(U_0)$;

5) сделать заключение о качестве проведенного ремонта асинхронного двигателя.

Определение силы тока и потерь короткого замыкания при токе, близком к номинальному

Цель испытания та же, что и при опыте холостого хода, – проверка качества ремонта электрической машины и ее параметров, имеющих большое значение в эксплуатации.

Определение указанных величин делается из опыта короткого замыкания. При этом следует иметь виду, что номинальный ток является нормированной величиной, а потери короткого замыкания хотя и не нормированы, однако существенно влияют на величину пускового вращающего момента двигателя. К тому же этот опыт воспроизводит пусковые условия двигателя и дает возможность проверить две весьма характерные для машины величины: пусковой ток и начальный момент.

Для проведения опыта короткого замыкания ротор электродвигателя затормаживается, а к обмотке статора подводится практически симметрично напряжение номинальной частоты. Замеряются: линейные напряжения: $U_{a-bкз}, U_{b-cкз}, U_{c-aкз}$; линейные токи: $I_{акз}, I_{бкз}, I_{скз}$; мощности: $P_{акз}, P_{бкз}, P_{скз}$.

Средние значения величин $U_{кз}, I_{кз}, P_{кз}$ определяются по аналогичным формулам, как и в опыте холостого хода:

$$U_{кз} = (U_{a-бкз} + U_{b-скз} + U_{c-акз}) / 3, \text{ В}, \quad (15.18)$$

$$I_{кз} = (I_{акз} + I_{бкз} + I_{скз}) / 3, \text{ А}, \quad (15.19)$$

$$P_{кз} = (P_{акз} + P_{бкз} + P_{скз}) / 3, \text{ кВт}. \quad (15.20)$$

Непосредственно после окончания эксперимента и отключения машины измеряется сопротивление обмотки статора $R_{кзл}$ между двумя линейными выводами.

Опыт короткого замыкания проводится при практически холодном состоянии машины либо после опыта холостого хода.

Двигатель включается на пониженное испытательное напряжение $U_{н}$ (напряжение короткого замыкания), указанное в табл. 15.4. Затем делается отчет (снимаются показания приборов) при пониженном напряжении 110 % $U_{н}$, и после этого еще 3–4 фиксированных точек отсчета при других значениях подводимого напряжения.

Таблица 15.4

Испытательное напряжение при опыте короткого замыкания $-U_{н}$

Номинальное напряжение двигателя, В	127	220	380	660
Напряжение короткого замыкания, В	33	58	100	173

Длительность снятия показаний приборов для каждого отсчета не должна превышать 10 с во избежание чрезмерного нагревания обмотки током короткого замыкания. Сразу после каждого отсчета двигатель от источника питания отключается.

После эксперимента строятся зависимости $I_{кз}, P_{кз}, \cos\phi_k, M_{кз}$ от напряжения короткого замыкания $U_{кз}$.

В общем виде $I_{кз} = f(U_{кз})$ не имеет прямолинейного характера из-за насыщения магнитопровода. Однако на практике зависимость между током короткого замыкания и приложенным к обмотке электродвигателя напряжением часто принимают прямолинейной. Это допущение позволяет проводить опыт короткого замыкания при напряжении, отличном от номинального. Отсюда, ток короткого замыкания ($I_{кз}$) при номинальном напряжении ($U_{н}$), называемый номинальным пусковым током, можно определить по формуле:

$$I_{кзн} = \frac{U_{н}}{U_{кз}} I_{кз}, \text{ А}, \quad (15.21)$$

где $I_{кз}$ – ток короткого замыкания в эксперименте, снятый при подведенном к двигателю пониженном напряжении $U_{кз}$, А.

Коэффициент мощности короткого замыкания находится из выражения:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{кз} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{кз} \cdot I_{кз}}, \quad (15.22)$$

где $P_{кз}$ – потребляемая мощность короткого замыкания, кВт;

$U_{кз}$ – линейное напряжение короткого замыкания, подводимое к двигателю при эксперименте, В;

$I_{кз}$ – линейный ток короткого замыкания (среднеарифметический), А.

Вращающий момент при коротком замыкании замеряется или рассчитывается по формуле:

$$M_{кз} = 9550 K_{эК} \frac{P_{эК}}{n_c}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (15.23)$$

где $K_{эК}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение $M_{эК}$ за счет добавочных потерь, $K_{эК} = 0,9$ (по стандарту);

n_c – синхронная частота вращения магнитного поля, мин^{-1} .

Электромагнитная мощность или потери в роторе:

$$P_{эК} = P_{кз} - P_{мс} - P_{ст}, \text{ кВт}, \quad (15.24)$$

где $P_{ст}$ – потери в стали магнитопровода, кВт, берутся по данным опыта холостого хода при напряжении, равном напряжению короткого замыкания;

$P_{мс}$ – потери в обмотке статора, при опыте короткого замыкания, находятся из выражения:

$$P_{мс} = 1,5 \cdot I_{кз}^2 \cdot R_{кэл} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (15.25)$$

где $R_{кэл}$ – сопротивление обмотки статора между двумя линейными выводами, Ом.

Потери короткого замыкания в обмотке ротора (электромагнитные потери) $P_{эК}$ пропорциональны развиваемому им вращающему моменту.

Начальный пусковой вращающий момент при коротком замыкании $M_{кзн}$, соответствующий номинальному напряжению, определяется по формуле:

$$M_{кзн} = \left(\frac{I_{кзн}}{I_{кз}} \right)^2 M_{кз}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (15.26)$$

где $M_{кз}$ – вращающий момент, Н·м, измеренный или рассчитанный при наибольшем напряжении опыта короткого замыкания.

Полученные зависимости $I_{кз}$, $P_{кз}$, $\cos \varphi_k$, $M_{кз}$ от напряжения $U_{кз}$ сравниваются с данными заводов-изготовителей.

Однако в ремонтной практике, как правило, проводятся сравнения с заводскими только двух величин: тока $I_{кз}$ и потерь $P_{кз}$, снятых при табличном (табл.15.4) испытательном напряжении. Указанные показатели не должны отличаться от заводских более чем: силы тока на 10 %, а потерь короткого замыкания – 15 %.

При больших отклонениях проводится анализ причин, в частности, с использованием вышеприведенных зависимостей и формул.

Ток короткого замыкания электродвигателей является нормированной величиной и равен номинальному. Главную роль в отклонении его величины от нормированной играют: несоответствие числа витков обмотки статора расчетному значению, наличие неисправности в обмотке ротора.

Наибольшая величина кратности пускового тока относительно номинального, для небольших электродвигателей (до 100 кВт), должна находиться в пределах 5–7.

Потери короткого замыкания для электрических машин стандартом не нормированы, но они влияют на величину пускового вращающего момента. Существенно влияют на значения потерь короткого замыкания: отступления в числе витков обмотки статора от расчетной, изменения в сечениях обмоточных проводов статорной обмотки, неисправности в обмотке ротора.

Опыт короткого замыкания позволяет проверить пайки в обмотках, а также выявить обрывы стержней «беличьих клеток» короткозамкнутых роторов. В последнем случае токи короткого замыкания будут неодинаковыми по фазам и изменяться при проворачивании ротора.

Ход выполнения этого вида испытания:

1. Для проведения эксперимента на стенде собирается экспериментальная схема, приведенная на рис. 15.4 (к работе приступать только после проверки схемы преподавателем!).

2. Рубильником QS включить питание схемы – загорается сигнальная лампа $HL1$ (красная). Автоматическим выключателем $QF1$ включить автотрансформатор $TV1$ – загорается сигнальная лампа $HL2$ (зеленая). Кнопкой управления установить его в исходное положение – вольтметр $PV1$ должен показывать испытательное напряжение $U_{и}$. Пакетным выключателем $QF2$ включить асинхронный двигатель.

3. Кнопкой управления автотрансформатора $TV1$ установить напряжение, равное 110 % от $U_{и}$, и снять показания приборов первой точки: $U_{a-bкз}$, $U_{b-cкз}$, $U_{c-акз}$; $I_{акз}$, $I_{бкз}$, $I_{скз}$; $P_{скз} = P_{бкз} = P_{акз} = (P_{1кз} + P_{2кз})/3$. Затем, понижая напряжение, снять показания приборов еще в 3–4 точки. Данные свести в табл. 15.5. После окончания эксперимента двигатель пакетным выключателем $QF2$, автоматическим выключателем $QF1$, рубильником QS отключить от сети и провести замер омического сопротивления его обмотки $R_{кзД}$ между двумя линейными выводами.

Таблица 15.5

Данные замеров по результатам опыта короткого замыкания

№ конгр. точки	$U_{a-бкз}$	$U_{b-скз}$	$U_{c-акз}$	$I_{акз}$	$I_{бкз}$	$I_{скз}$	$P_{кз}$	Примечание

Величину трехфазной мощности ($P_{кз}$), при опыте короткого замыкания данного асинхронного двигателя в условиях лаборатории, для каждой точки можно определять по формуле:

$$P_{кз} = (P_{1кз} \pm P_{2кз}), \text{ кВт}; \quad (15.27)$$

4. Провести обработку полученных данных и построить зависимости $I_{кз}$, $P_{кз}$, $\cos\varphi_{кз}$, $M_{кз}$ от напряжения $U_{кз}$.

5. Сделать заключение о качестве проведенного ремонта асинхронного двигателя.

Испытание машин при повышенной скорости вращения

Цель испытания – проверка механической прочности вращающихся частей и бандажей асинхронного двигателя при действии на них центробежных сил, а также состояние подшипников.

При испытании скорость вращения ротора машины увеличивается на 20 % от номинальной и выдерживается в течение 2 мин. После этого проводится тщательный внешний осмотр. Машина должна выдержать такое увеличение скорости без опасных для себя деформаций, заклинивания ротора, без резкого роста температуры подшипников – выше 60–65 °С.

Увеличение частоты вращения ротора асинхронного двигателя в лаборатории выполняется с помощью машины постоянного тока.

Содержание отчета:

1. Цель и план работы.
2. В соответствии с планом работы привести все схемы опытов, данные экспериментов, результаты проведенных расчетов и графики зависимостей величин (где это требуется).
3. Сделать вывод о пригодности электрической машины к эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. Каков объем приемо-сдаточных испытаний трехфазного асинхронного электродвигателя?
2. Для чего измеряют сопротивление обмоток фаз статора электродвигателя постоянному току? Схемы и приборы измерения. Порядок проведения опыта.
3. Как рассчитать сопротивление обмотки постоянному току при схеме соединения обмоток Y ?
4. Как рассчитать сопротивление обмотки постоянному току при схеме соединения обмоток Δ ?
5. Как проводят испытание изоляции обмоток статора относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность?

Цель опыта, схема, нормы испытательного напряжения и длительности его приложения для асинхронных двигателе номинальной мощностью до 100 кВт, напряжением 380/220 В.

6. Как проводят испытание изоляции обмоток статора относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность? Схема испытания. Основные причины нарушения изоляции обмоток трехфазных АД.

7. Как испытывают межвитковую изоляцию асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором? Цель, схема, нормы, причины нарушения изоляции.

8. Цель проведения опыта холостого хода. Схема испытания. Для выявления каких неисправностей ремонта проводят опыт?

9. Схема опыта холостого хода. Последовательность его проведения. Кривые зависимостей $I_0 = f(U_0)$, $P_0 = f(U_0)$, $\cos\phi_0 = f(U_0)$.

10. Обработка данных опыта холостого хода. Их назначение.

11. Цель проведения опыта короткого замыкания. Схема испытания. Для выявления каких неисправностей ремонта проводят опыт?

12. Схема опыта короткого замыкания. Последовательность его проведения. Кривые зависимостей $I_{кз}$, $P_{кз}$, $\cos\phi_{кз}$, $M_{кз}$ от напряжения короткого замыкания $U_{кз}$.

13. Обработка данных опыта холостого хода. Их назначение.

14. Как проводятся испытания асинхронного двигателя при повышенной частоте вращения ротора и для чего? Схема, порядок, нормы.

Лабораторная работа № 16

ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА ПОСЛЕ РЕМОНТА

Цель работы: изучить объем и методику испытаний трансформатора после ремонта.

Студент должен знать: объем испытаний силового трансформатора после капитального ремонта, методики проведения испытаний, испытательное оборудование;

уметь: пользоваться приборами и оборудованием для проведения испытаний для силового масляного трансформатора, анализировать полученные экспериментальным путем данные для определения состояния трансформатора после капитального ремонта.

Общие сведения

В соответствии с ПТЭ трансформаторы после капитального ремонта подвергаются испытаниям в следующем объеме:

- измерение сопротивления изоляции: обмоток и ярмовых балок;
- определение коэффициента абсорбции: $K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$;
- измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) изоляции обмоток;
- определение отношения C_2/C_{30} и $\Delta C/C$;
- испытание повышенным напряжением промышленной частоты: изоляции обмоток 35 кВ и ниже вместе с вводами, изоляции доступных для испытания стяжных шпилек и ярмовых балок;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;

- проверка коэффициента трансформации;
- проверка группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов;
- измерение тока и потерь холостого хода;
- проверка работы переключающего устройства;
- испытание бака с радиаторами статическим давлением столба масла;
- проверка устройств охлаждения;
- проверка состояния индикаторного силикагеля воздушно-осушительных фильтров;
- фазировка трансформатора;
- испытание трансформаторного масла.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомьтесь с объемом контрольных испытаний трансформатора после ремонта.
2. Изучить методику испытаний трансформатора.
3. Провести следующие испытания трансформатора:
 - измерить сопротивление изоляции ярмовых балок и стяжных шпилек;
 - проверить группу соединения обмоток;
 - испытать электрическую прочность изоляции обмоток и стяжных шпилек.
4. Ознакомьтесь с методами проверок:
 - работа переключающих устройств;
 - работа охлаждающих устройств;
 - состояние индикаторного силикагеля воздухоочистительных фильтров;
 - фазировка трансформатора;
 - испытание бака статическим давлением.
5. Выводы по полученным результатам измерений, проверок, испытаний.

Измерение сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции ярмовых балок и доступных для выявления замыканий стяжных шпилек делается мегомметром

на напряжение 1000 или 2500 В. В лаборатории используется мегомметр типа Ф4102/2-1М. На рис. 16.1 приведена схема его включения.

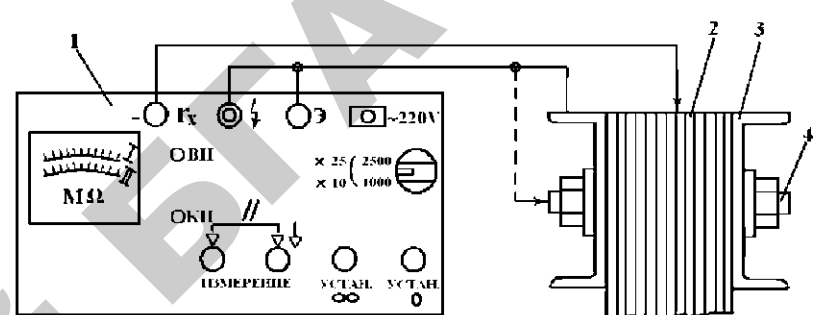


Рис. 16.1. Схема измерения сопротивления изоляции ярмовых балок: 1 – мегомметр; 2 – магнитопровод трансформатора; 3 – ярмовая балка; 4 – стяжная шпилька (пунктиром показана схема измерения сопротивления изоляции стяжных шпилек)

Измерение сопротивления изоляции мегомметром Ф 4102/2-1М выполняется в следующем порядке:

- производится осмотр прибора, установка ручек, проверка переключателя;
- устанавливается переключателем нужное напряжение мегомметра на выходе (1000 или 2500 В);
- включается питание (вилку шнура питания включить в розетку с напряжением ~ 220 В);
- нажимается кнопка «измерение» 1 (загорается сигнальная лампа ВН) и ручкой «0» устанавливается стрелка на 0 при замкнутых проводах r_x и ⚡ , затем ручкой ∞ устанавливается стрелка на ∞ при разомкнутых проводах r_x и ⚡ .

– подключаются провода r_x и ⚡ (рис. 16.1) и измеряются сопротивление ярмовой изоляции, а затем – стяжных шпилек. Для этого нажимается кнопка «измерение» 1 и через 60 с (но не ранее, чем стрелка прибора $M\Omega$ остановится) по шкале снимается его показание. Полученная величина умножается на коэффициент $\times 10$ или $\times 25$ (в зависимости от установленного напряжения).

В том случае, если показание прибора $M\Omega$ будет меньше 75, следует для более точного определения сопротивления нажать на две кнопки «измерение» одновременно. Показание снимается по шкале 2 и умножается на соответствующий коэффициент. В том случае, если показания прибора по шкале 1 превышают 200 МОм, измерение по шкале 2 нецелесообразно.

В соответствии с ПТЭ сопротивления изоляции ям и стяжных шпилек не нормируются. Полученные показания сопротивлений сопоставляются с ранее полученными или полученными на заводе-изготовителе. Резких изменений быть не должно.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь

Целью измерения $\text{tg}\delta$ (тангенса угла диэлектрических потерь) является определение чистоты и увлажнения изоляции. Значение его определяется по формуле:

$$\text{tg}\delta = \frac{I_a}{I_c}, \quad (16.1)$$

где I_a – сумма активных сопротивлений абсорбционного тока и тока проводимости, А;

I_c – емкостной ток и реактивная составляющая абсорбционного тока, А.

Загрязнения и увлажнения изоляции трансформатора увеличивают в ней количество свободных зарядов. Ток I_a возрастает до I'_a (рис. 16.2б), следовательно, увеличивается $\text{tg}\delta$ до значения $\text{tg}\delta'$: $\text{tg}\delta$ – изоляция сухая, чистая; $\text{tg}\delta'$ – изоляция загрязненная, увлажненная.

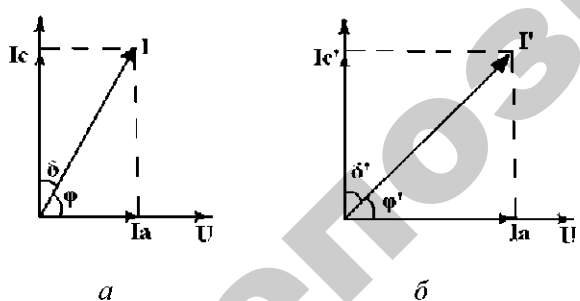


Рис. 16.2.

Приборы и методика определения $\text{tg}\delta$ известны по лабораторным работам дисциплины «Электротехнические материалы». Наибольшие допустимые значения его приведены в таблицах ПТЭ.

Определение соотношений C_2/C_{50} и $\Delta C/C$

Определение отношений C_2/C_{50} (емкость–частота) и $\Delta C/C$ (емкость–время) на производстве являются емкостными методами оценки степени увлажнения изоляции трансформатора. Наибольшие допустимые значения $\Delta C/C$ и C_2/C_{50} даны в таблице ПТЭ.

Примечание. Измерение сопротивления изоляции, $\text{tg}\delta$, C_2/C_{50} , $\Delta C/C$ должно производиться при одной и той же температуре.

Испытание трансформатора повышенным напряжением

Испытание трансформатора повышенным напряжением промышленной частоты выполняется для определения электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса и друг друга и изоляции доступных для испытания стяжных шпилек и ямтовых балок.

При испытании изоляции обмоток относительно корпуса и друг друга испытательное напряжение прикладывается между замкнутой коротко испытываемой обмоткой и заземленным баком, к которому присоединены все другие обмотки и магнитопровод (рис. 16.3).

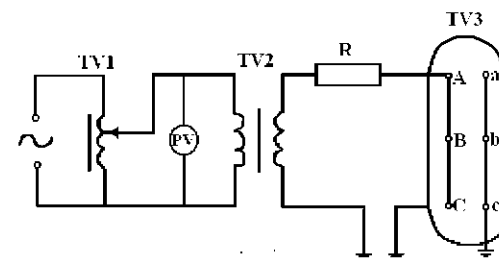


Рис. 16.3. Принципиальная схема испытания электрической прочности главной изоляции трансформатора:
 TV1 – регулировочный автотрансформатор, TV2 – измерительный трансформатор,
 R – токоограничивающий защитный резистор, TV3 – испытываемый трансформатор

Нормы испытательного напряжения приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Нормы испытательного напряжения трансформатора

Объект испытания	Испытательное напряжение (кВ) при номинальном напряжении обмотки, кВ		
	до 0,69	10	35
Трансформатор с нормальной изоляцией	5	35	85

Вначале испытывают обмотку низкого напряжения, затем – высокого напряжения.

При испытании изоляции стяжных шпилек испытательное напряжение 1 кВ прикладывается (см. рис. 16.1) к шпильке, а затем – к яру и заземленному магнитопроводу.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если в каждом положении в течение 1 мин не происходит пробой изоляции, выделение газа и дыма (в масле) или снижения испытательного напряжения.

Примечание. При капитальных ремонтах без замены обмоток и изоляции испытание обмоток маслонаполненных трансформаторов не обязательно.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Измерение сопротивления обмоток постоянному току делается для проверки целостности обмоток, обрыва параллельных проводов, состояния контактов и паяк.

Методика, измерения и приборы указаны в лабораторной работе № 5 «Дефектация трансформатора».

Проверка коэффициента трансформации

Проверка коэффициента трансформации делается для обеспечения нормированного напряжения у потребителя, выявления витковых замыканий, ошибок в количестве витков при ремонте обмоток и др. Для определения коэффициента трансформации на обмотку высшего напряжения трансформатора подается пониженное напряжение (380 В). Вольтметром измеряется напряжение U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} . Данные заносятся в табл. 16.2.

Измерения производятся на всех ответвлениях переключателя. Отличия коэффициентов не должны превышать $\pm 2\%$ от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз.

Таблица 16.2

Таблицы замеров напряжения и расчетов коэффициента трансформации

Положение переключателя	Напряжение						Коэффициент трансформации			Отклонение, %
	U_{AB} В	U_{BC} В	U_{CA} В	U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	K_I	K_{II}	K_{III}	
I										
II										
III										
IV										
V										

Коэффициенты трансформации определяются по формулам:

$$K_I = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}; K_{II} = \frac{U_{BC}}{U_{bc}}; K_{III} = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}$$

Определение группы соединений обмоток трансформатора

Определение группы соединений обмоток трансформатора необходимо для обеспечения их параллельной работы.

При проверке группы соединения обмоток выявляются дефекты, вызванные неправильным направлением намотки катушек обмоток, неправильной сборкой схемы, неправильным подсоединением обмоток к вводам.

Под группой соединения обмоток трансформатора понимается временной (фазовый) сдвиг между векторами линейных напряжений обмоток ВН и НН.

На рис. 16.4 показана векторная диаграмма (рис. 16.4а) двух трансформаторов с группами соединения обмоток «0».

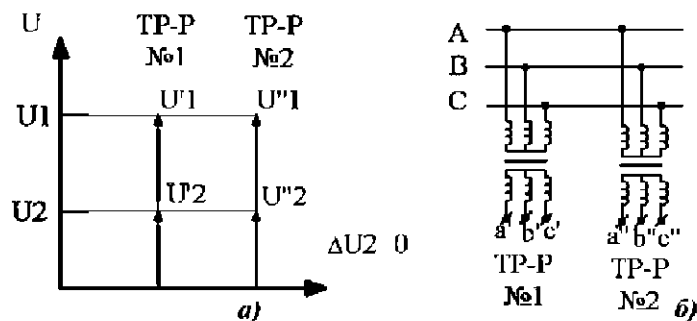


Рис. 16.4. Параллельная работа трехфазных силовых маслонаполненных трансформаторов с группой соединения обмоток «0»: а) векторные диаграммы; б) схема включения

Из диаграммы следует, что $U'_2 = U''_2$; $U'_2 - U''_2 = \Delta U_2 = 0$, то есть разность потенциалов одноименных вводов a' и a'' , b' и b'' , c' и c'' этих трансформаторов равна нулю ($\Delta U_2 = 0$). Следовательно, трансформаторы могут работать параллельно.

На рис. 16.5 показаны векторные диаграммы двух трансформаторов с группами соединения обмоток «0» и «6». Из диаграмм (рис. 16.4, 16.5) видно, что $U'_2 = U''_2$, $U'_2 - (-U''_2) = \Delta U_2 = 2U_2$, то есть разность потенциалов одноименных выводов a' и a'' , b' и b'' , c' и c'' этих трансформаторов не равна нулю ($\Delta U_2 \neq 0$). Следовательно, трансформаторы не могут работать параллельно.

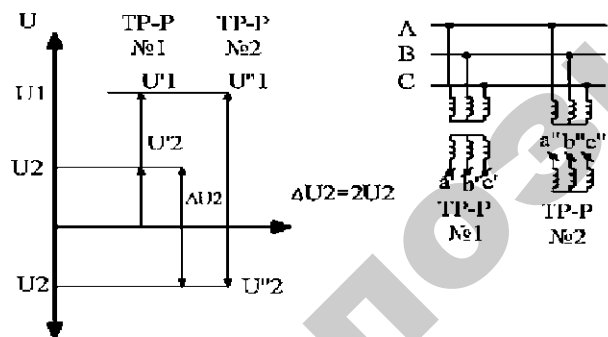


Рис. 16.5. Векторные диаграммы (а) и схема включения (б) трансформаторов с группами соединения обмоток «0» и «6» при включении на параллельную работу

При замыкании указанных вводов под действием ΔU потечет большой уравнительный ток, от которого обмотки трансформатора могут выйти из строя.

Для проверки группы соединений обмоток трехфазного трансформатора соединяют проводником одноименные вводы «А» и «а» обмоток ВН и НН. На вводы ВН подается пониженное напряжение (380 В) и измеряются напряжения U_{AB} , U_{Bb} , U_{Bc} , U_{Cc} , U_{Cb} . Четыре последних величины сравнивают с U_{AB} . Они могут быть больше (Б), меньше (М), равны (Р). Исходя из этого, по табл. 16.3 определяют группу соединения обмоток.

Таблица 16.3

Определение группы соединения обмоток

Группа соединения обмоток	Результаты измерения напряжения			
	U_{Bb}	U_{Bc}	U_{Cc}	U_{Cb}
0	М	М	М	М
1	М	Р	М	М
2	М	Б	М	М
3	Р	Б	Р	М
4	Б	Б	Б	М
5	Б	Б	Б	Р
6	Б	Б	Б	Б
7	Б	Р	Б	Б
8	Б	М	Б	Б
9	Р	М	Р	Б
10	М	М	М	Б
11	М	М	М	Р

Примечание: можно определить группу соединения обмоток путем построения векторной диаграммы.

Измерение силы тока и потерь холостого хода

Измерение тока и потерь холостого хода делается для контроля числа витков в катушках обмоток трансформатора, определения состояния стали магнитопровода и пр.

Проверка работы переключающего устройства

Проверка работы переключающего устройства делается для определения исправности всех его деталей и узлов. В каждом из 5-ти положений переключателя все детали должны четко фиксироваться и обеспечивать надежный контакт соединения обмоток в «нулевую точку».

Испытание бака трансформатора

Испытание бака с радиаторами статическим давлением столба масла делается для проверки сварных швов бака, а также уплотнений в местах соединения деталей. Избыточное давление создается с помощью специальной трубки с воронкой (рис. 16.6).

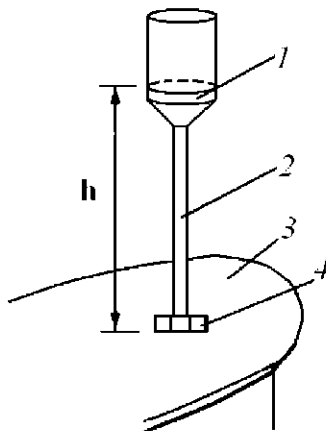


Рис. 16.6. Испытание маслонаполненного бака трансформатора на герметичность:
1 – воронка; 2 – испытательная трубка; 3 – крышка бака трансформатора;
4 – уплотняющая гайка

Высота столба масла берется над уровнем заполненного расширителя 0,6 м, для баков с волнистыми и пластинчатыми радиаторами – 0,3 м. Продолжительность испытания ≥ 3 ч при температуре масла не ниже 10 °С.

Примечание. Течи масла не должно быть.

Проверка устройств охлаждения

Проверка устройств охлаждения делается при их наличии. Они должны быть исправными. Проводятся согласно типовым и заводским инструкциям.

Проверка состояния индикаторного силикагеля воздушно-осушительных фильтров

Проверка состояния индикаторного силикагеля воздушно-осушительных фильтров делается визуально. Силикагель должен иметь равномерную голубую окраску зерен. Изменение цвета зерен силикагеля с голубого на розовый цвет свидетельствует о его увлажнении.

Фазировка трансформатора

Фазировка трансформаторов делается для правильного подключения трансформатора в сеть. Она выполняется специальным прибором. Должны иметь место совпадения по фазе.

Испытание трансформаторного масла

Испытание трансформаторного масла производится:

- после капитальных ремонтов;
- не реже 1 раза в 5 лет для трансформаторов мощностью $S \geq 630$ кВ·А, работающих с термосифонным фильтром, и 1 раз в 2 года – без термосифонного фильтра;
- в трансформаторах мощностью $S < 630$ кВ·А пробы масла при эксплуатации не отбираются.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Паспортные данные испытываемого трансформатора.
3. Схемы, приборы и методика проведенных испытаний.
4. Результаты испытаний.
5. Выводы о пригодности трансформатора к эксплуатации по данным проведенных испытаний.

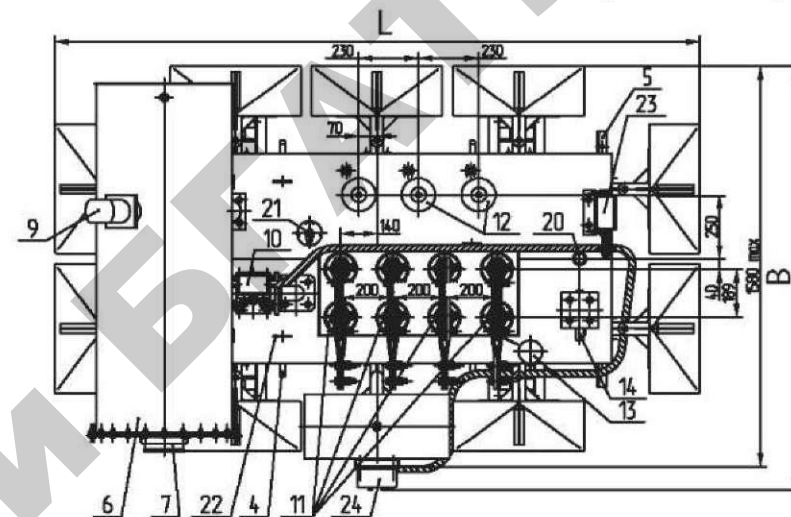
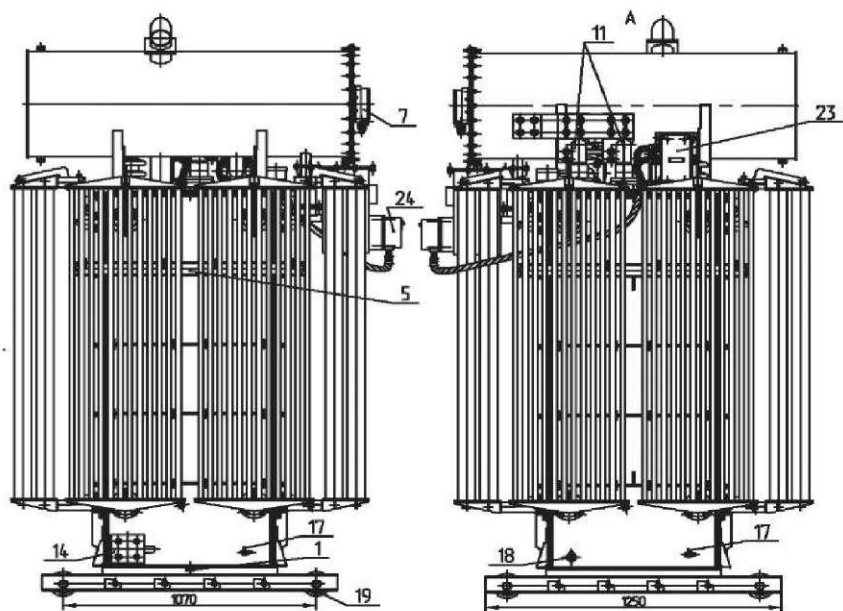
Контрольные вопросы:

1. Какие испытания трансформатора после капитального ремонта предусмотрены в соответствии с ПТЭ?
2. Определите цели и задачи измерения сопротивления изоляции трансформатора, методика испытания.
3. Определите цели и задачи определения $\text{tg}\delta$ изоляции трансформатора, отношений C_2/C_{50} и $\Delta C/C$.
4. Определите цели и задачи испытания изоляции трансформатора повышенным напряжением.
5. Назначение и методика определения коэффициента трансформации.
6. Какова методика определения группы соединения обмоток трансформатора?
7. Каковы цели и задачи измерения тока и потерь холостого хода; проверки переключающего устройства?
8. Как испытывается бак трансформатора; проверяется состояние индикаторного силикагеля воздушно-осушительного фильтра?

ЛИТЕРАТУРА

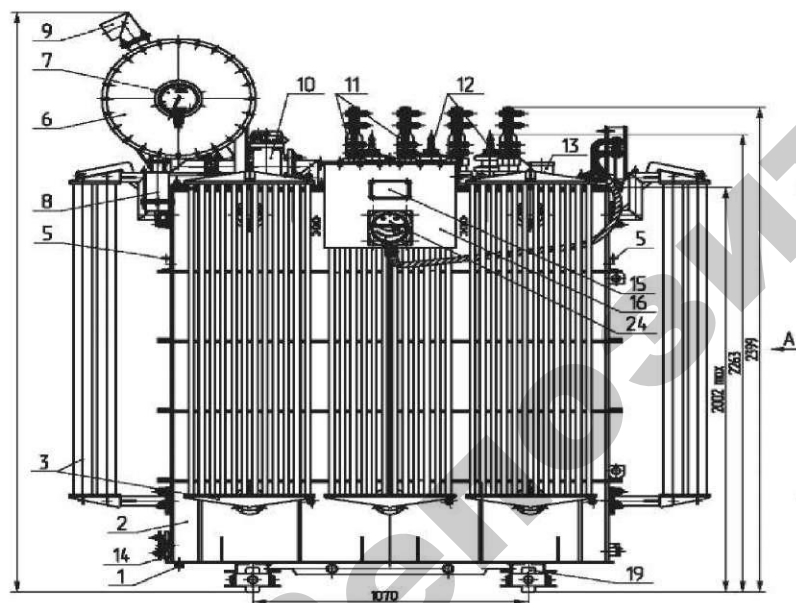
1. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы [Текст] : учебник / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тарсев. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 303 с.
2. Гемке, Р. Г. Нисправности электрических машин [Текст] / Р. Г. Гемке. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
3. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические сведения.
4. ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования.
5. Ивашов, В. В. Ремонт трансформаторов [Текст] / В. В. Ивашов. – М. : Госэнергоиздат, 1972. – 239 с.
6. Маршак, Е. Л. Ремонт электрических машин общепромышленного применения [Текст] / Е. Л. Маршак, Р. Б. Уманцев. – М. : Энергия, 1972. – 279 с.
7. Пястолов, А. А. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования [Текст] / А. А. Пястолов, А. А. Мешков, А. Л. Вахрамеев. – М. : Колос, 1981. – 335 с.
8. Сердешнов, А. П. Планирование эксплуатации сельскохозяйственного оборудования [Текст] / А. П. Сердешнов, Г. И. Янукович. – Минск : Урожай, 1992. – 87 с.
9. Сердешнов, А. П. Ремонт электрооборудования. Ч. I. Ремонт электрических машин [Текст] : учебное пособие для вузов / А. П. Сердешнов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006. – 292 с.
10. Сердешнов, А. П. Техобслуживание и ремонт электрооборудования в сельском хозяйстве [Текст] : справочник / А. П. Сердешнов, Г. И. Янукович. – Минск : Урожай, 1993. – 176 с.
11. ТПК 181-2009 (12230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Минск : Минэнерго. – 329 с.

12. ТПК 339-2011 (02230). Электроустановки на напряжении до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Нормы приемосдаточных испытаний. – Минск : Минскэнерго, 2011. – 596 с.

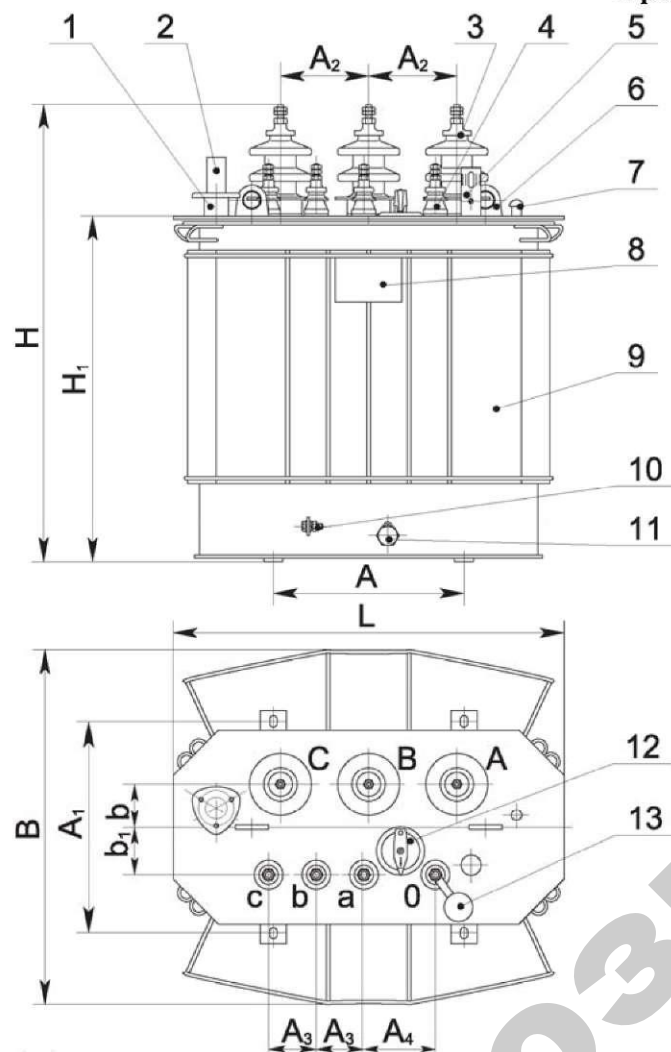


Общий вид и габаритные размеры ТМ:

1 – пробка для удаления продуктов окисления и остатков масла; 2 – бак; 3 – радиатор; 4 – крюк для подъема трансформатора; 5 – швеллер для крепления трансформатора при транспортировании; 6 – расширитель; 7 – маслоуказатель; 8 – воздухоосушитель; 9 – предохранительное устройство; 10 – газовое реле; 11 – вводы НН; 12 – вводы ВН; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя); 14 – затвор дисковый; 15 – табличка; 16 – радиатор с термосифонным фильтром; 17 – зажим заземления; 18 – пробка для слива и отбора масла; 19 – ролик транспортный; 20 – гильза для установки термобаллона термометра; 21 – привод переключателя; 22 – серьга для подъема крышки вместе с расширителем; 23 – коробка зажимов; 24 – термометр манометрический



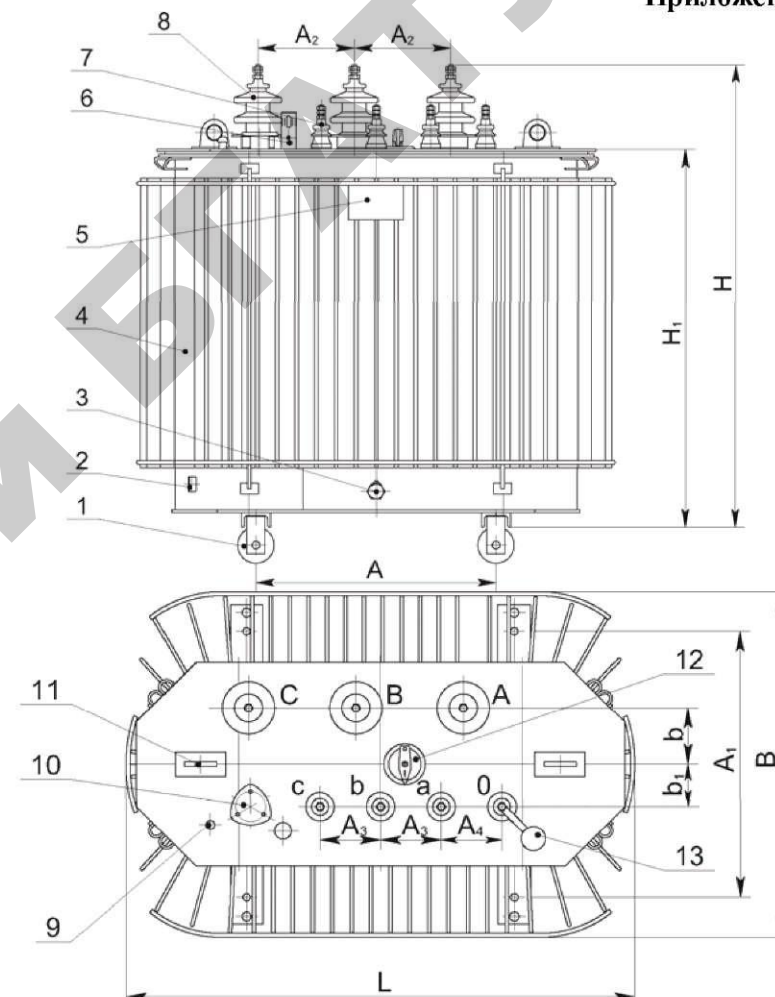
Приложение 3



Общий вид и габаритные размеры ТМГ 16–63 кВ·А:

1 – патрубок для заливки масла; 2 – предохранительный клапан; 3 – ввод ВН; 4 – ввод НН; 5 – маслоуказатель; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – гильза термометра; 8 – табличка; 9 – бак; 10 – зажим заземления; 11 – пробка сливная; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

Приложение 4

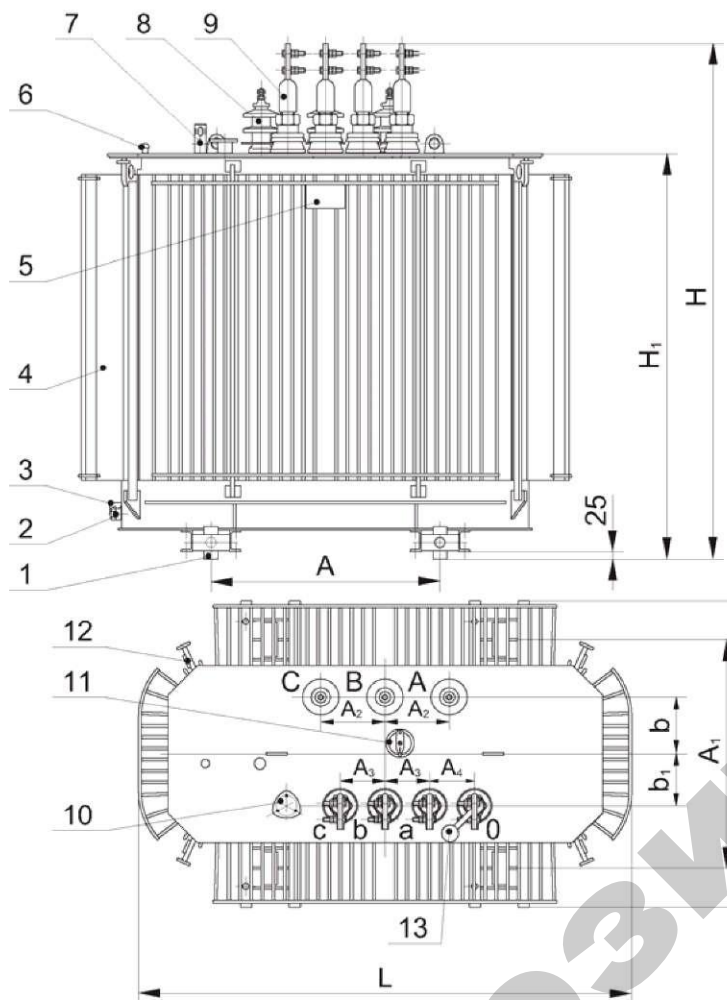


Общий вид и габаритные размеры ТМГ 100–400 кВ·А:

1 – ролик транспортный (устанавливается по заказу потребителя в трансформаторах мощностью 160, 250, 400 кВ·А); 2 – зажим заземления; 3 – пробка сливная; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – маслоуказатель; 7 – ввод НН; 8 – ввод ВН; 9 – гильза термометра; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – серьга для подъема трансформатора*; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

*Трансформатор мощностью 400 кВ·А изготавливается с серьгами для подъема, расположенными на баке.

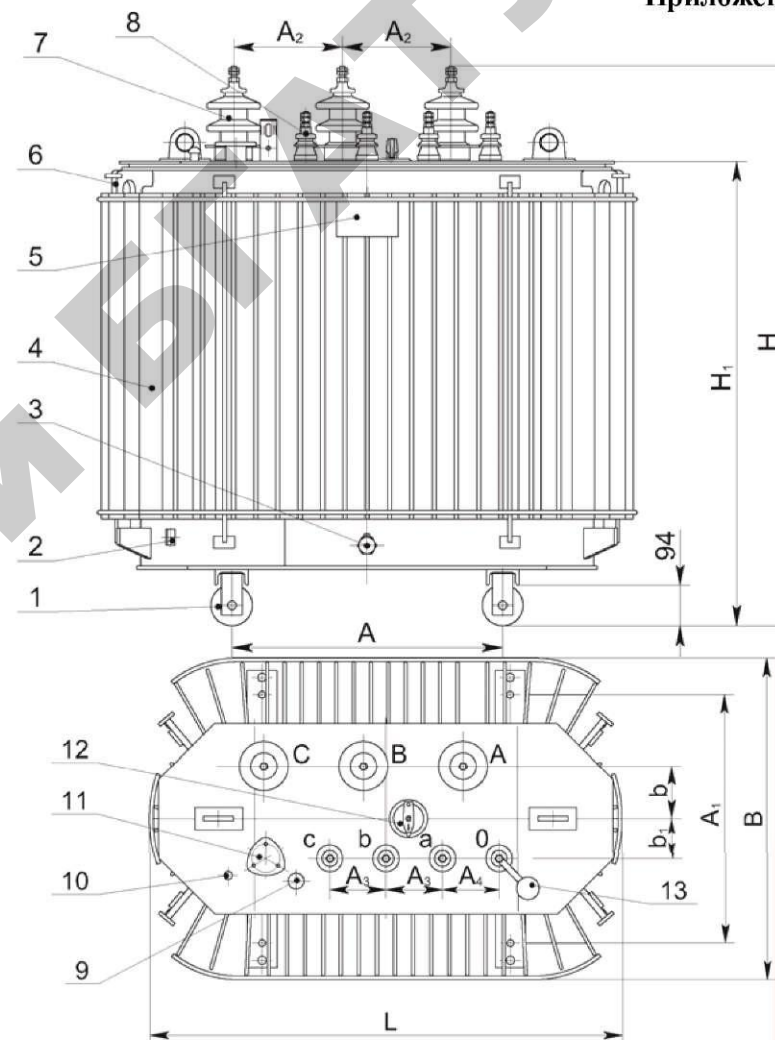
Приложение 5



Общий вид и габаритные размеры ТМГ 630–1250 кВ·А:

1 – ролик транспортный; 2 – пробка сливная; 3 – зажим заземления; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – гильза для стеклянного термометра и термобаллона манометрического термометра; 7 – маслоуказатель; 8 – ввод ВН; 9 – ввод НН; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – переключатель; 12 – серьга для подъема трансформатора; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

Приложение 6

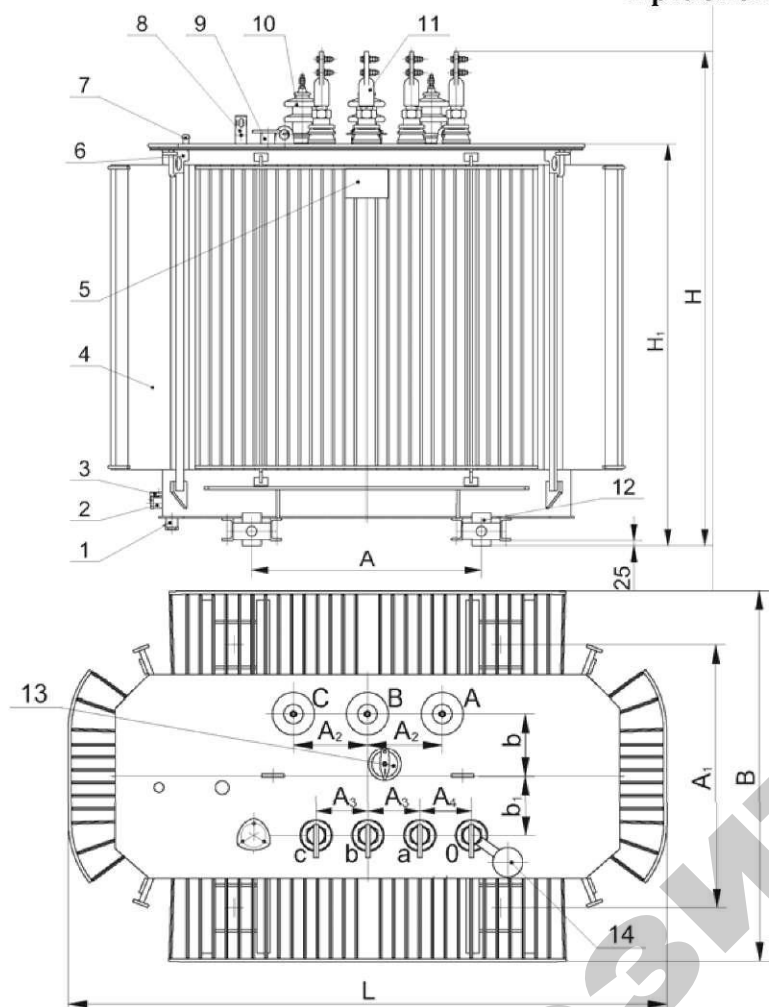


Общий вид и габаритные размеры ТМГ 11 100–400 кВ·А:

1 – ролик транспортный*; 2 – зажим заземления; 3 – пробка сливная; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – ввод ВН; 8 – ввод НН; 9 – маслоуказатель; 10 – гильза термометра; 11 – патрубок для заливки масла; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

*Графика рисунка соответствует трансформатору мощностью 400 кВ·А.

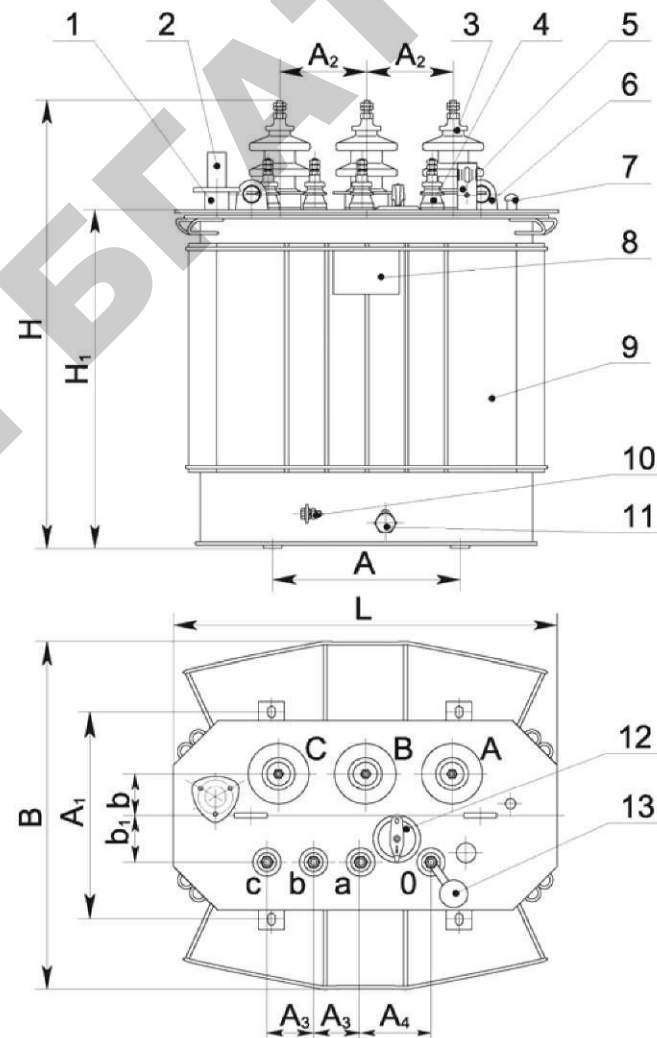
Приложение 7



Общий вид и габаритные размеры ТМГ11 630–1600 кВ·А:

1 – пробка для удаления остатков масла (в трансформаторе мощностью 1600 кВ·А); 2 – пробка сливная; 3 – зажим заземления; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – гильза для стеклянного термометра и термобаллона манометрического термометра; 8 – маслоуказатель; 9 – патрубок для заливки масла; 10 – ввод ВН; 11 – ввод НН; 12 – ролик транспортный; 13 – переключатель; 14 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

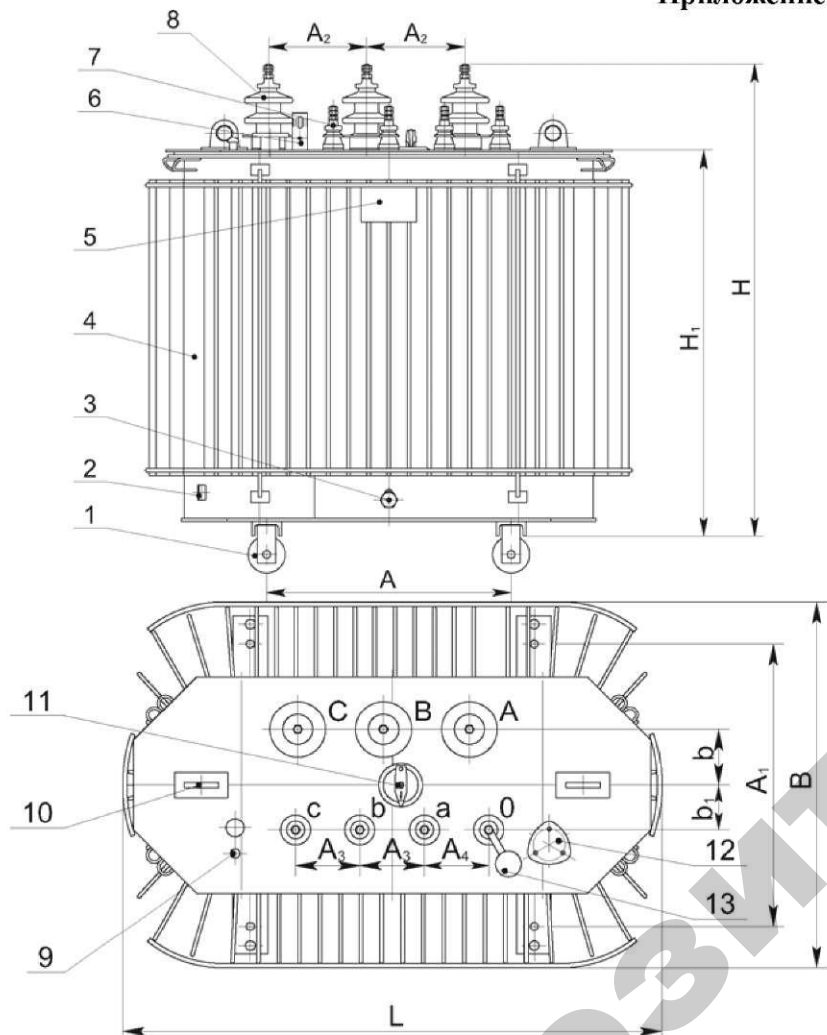
Приложение 8



Общий вид и габаритные размеры ТМГСУ 25–63 кВ·А:

1 – патрубок для заливки масла; 2 – предохранительный клапан; 3 – ввод ВН; 4 – ввод НН; 5 – маслоуказатель; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – гильза термометра; 8 – табличка; 9 – бак; 10 – зажим заземления; 11 – пробка сливная; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

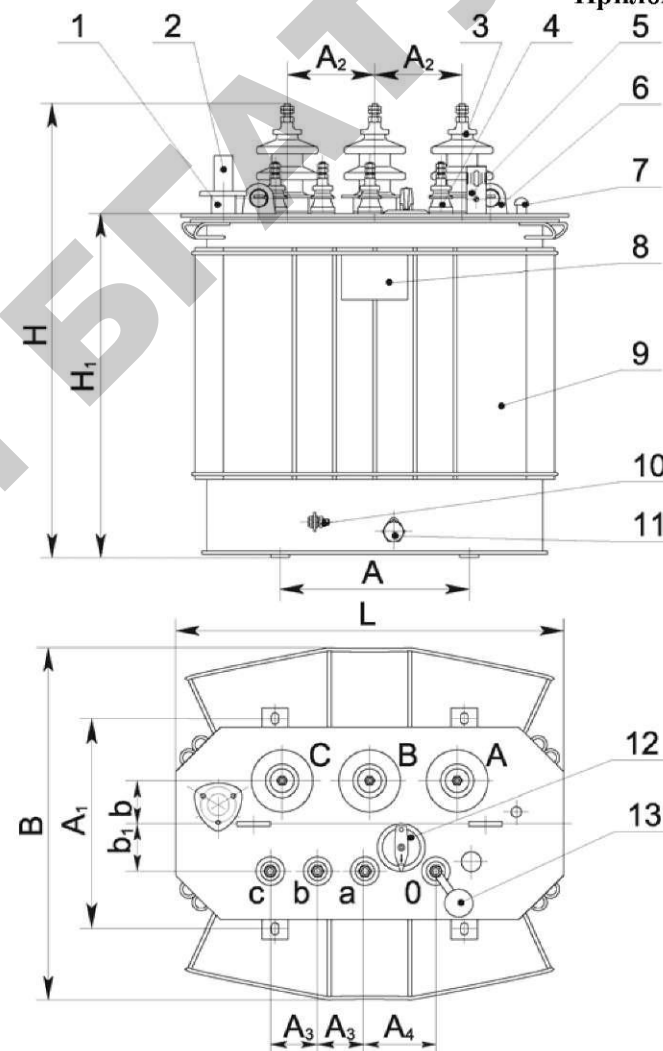
Приложение 9



Общий вид и габаритные размеры ТМГСУ11-100, ТМГСУ11-160, ТМГСУ11-250:

1 – ролик транспортный (устанавливается в трансформаторах мощностью 250 кВ·А и по заказу потребителя – в трансформаторах мощностью 160 кВ·А); 2 – зажим заземления; 3 – пробка сливная; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – маслоуказатель; 7 – ввод НН; 8 – ввод ВН; 9 – гильза термометра; 10 – серьга для подъема трансформатора; 11 – переключатель; 12 – патрубок для заливки масла; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

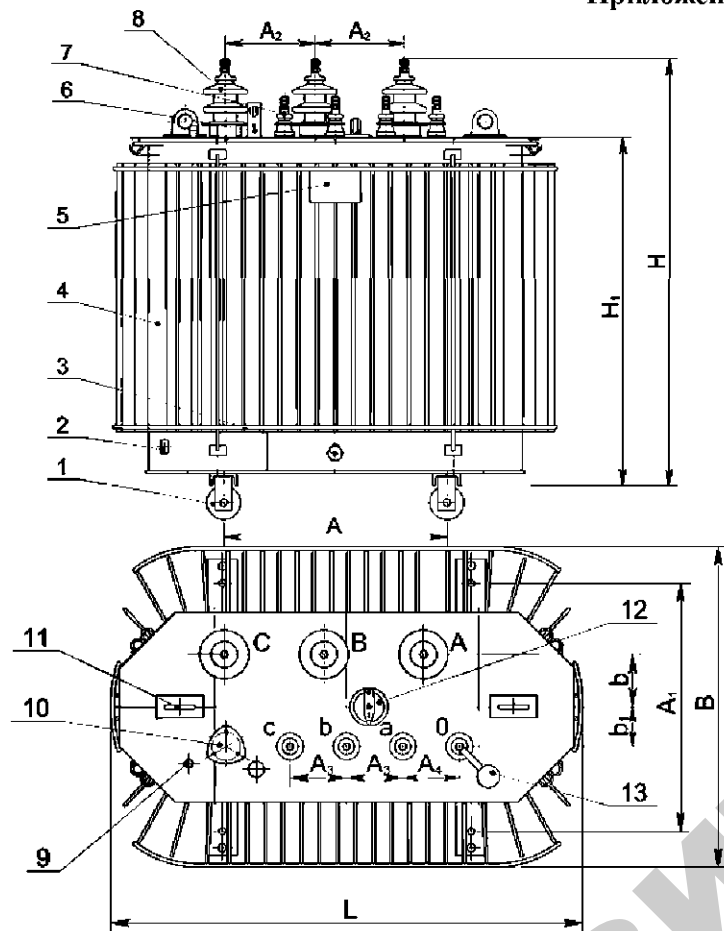
Приложение 10



Общий вид и габаритные размеры ТМГМШ 25–63 кВ·А:

1 – патрубок для заливки масла; 2 – предохранительный клапан; 3 – ввод ВН; 4 – ввод НН; 5 – маслоуказатель; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – гильза термометра; 8 – табличка; 9 – бак; 10 – зажим заземления; 11 – пробка сливная; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

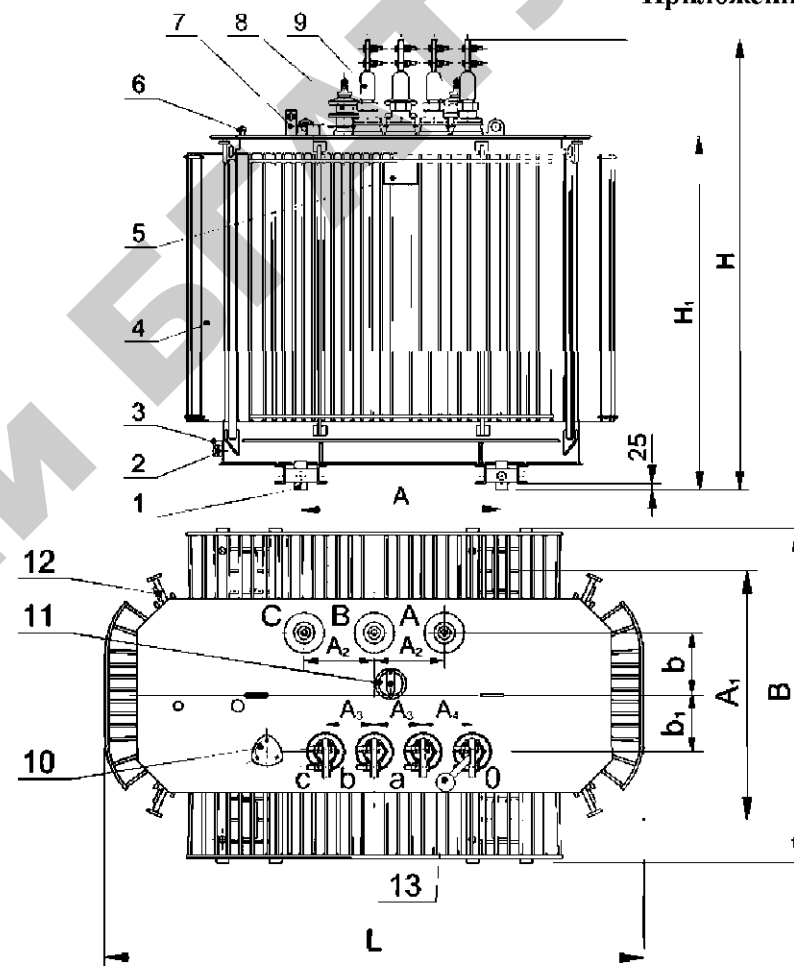
Приложение 11



Общий вид и габаритные размеры ТМГ МШ 100–400 кВ·А.

1 – ролик транспортный (устанавливается в трансформаторе мощностью 400 кВ·А и по заказу потребителя – в трансформаторах мощностью 160 и 250 кВ·А); 2 – зажим заземления; 3 – пробка сливная; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – маслоуказатель; 7 – ввод НН; 8 – ввод ВН; 9 – гильза термометра; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – серьга для подъема трансформатора; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

Приложение 12

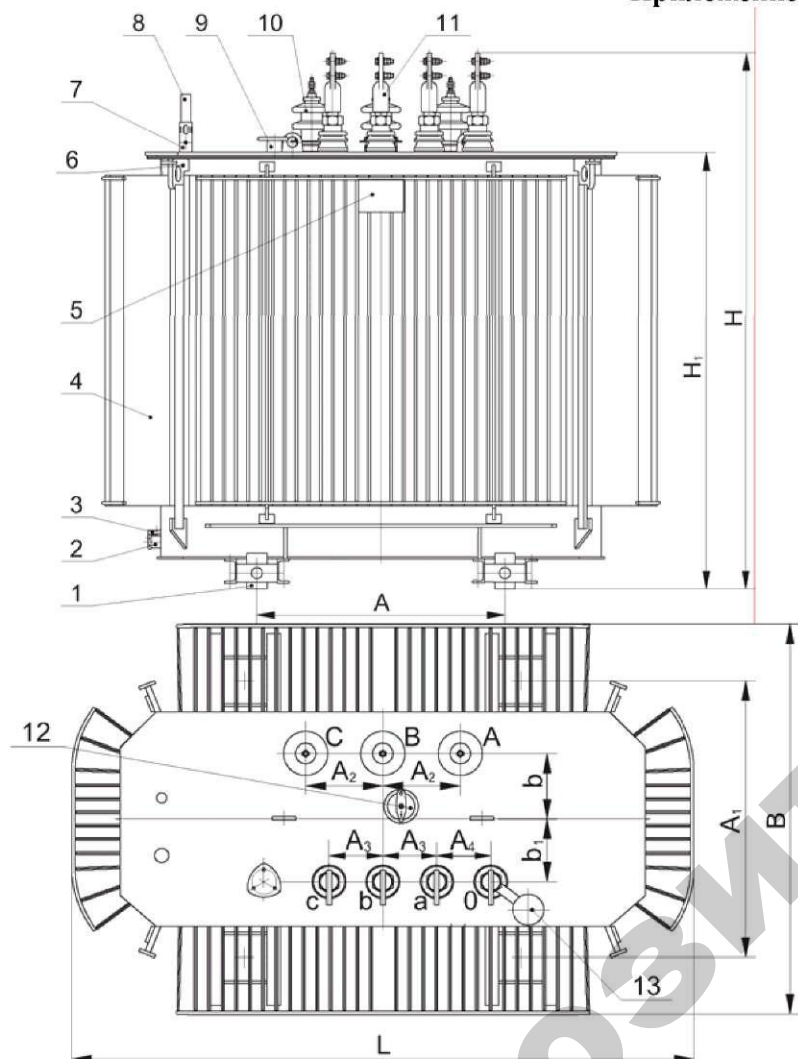


Общий вид и габаритные размеры ТМГ МШ 630–1000 кВ·А.

1 – ролик транспортный; 2 – пробка сливная; 3 – зажим заземления; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – гильза для стеклянного термометра и термобаллона манометрического термометра; 7 – маслоуказатель; 8 – ввод ВН; 9 – ввод НН; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – переключатель; 12 – серьга для подъема трансформатора*; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

*Трансформатор мощностью 630 кВ·А изготавливается с серьгами для подъема, расположенными на крышке бака.

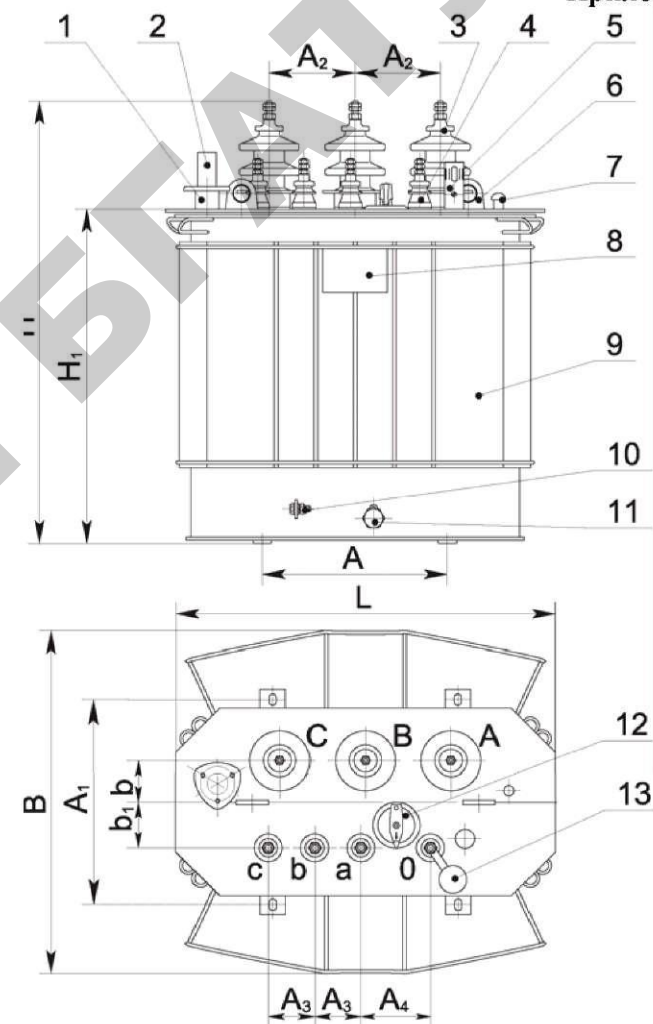
Приложение 13



Общий вид и габаритные размеры ТМГ 12 630–1000 кВ·А:

1 – ролик транспортный; 2 – пробка сливная; 3 – зажим заземления; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – маслоуказатель; 8 – гильза для стеклянного термометра; 9 – патрубок для заливки масла; 10 – ввод ВН; 11 – ввод НН; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

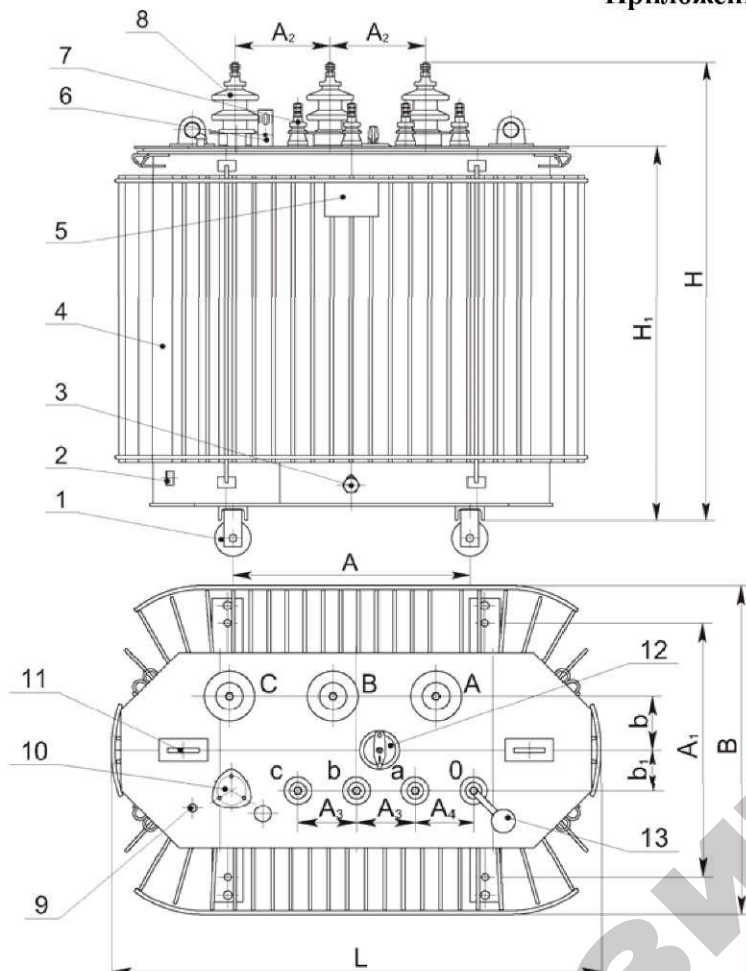
Приложение 14



Общий вид и габаритные размеры ТМГ 13 16–63 кВ·А:

1 – патрубок для заливки масла; 2 – предохранительный клапан; 3 – ввод ВН; 4 – ввод НН; 5 – маслоуказатель; 6 – серьга для подъема трансформатора; 7 – гильза термометра; 8 – табличка; 9 – бак; 10 – зажим заземления; 11 – пробка сливная; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

Приложение 15

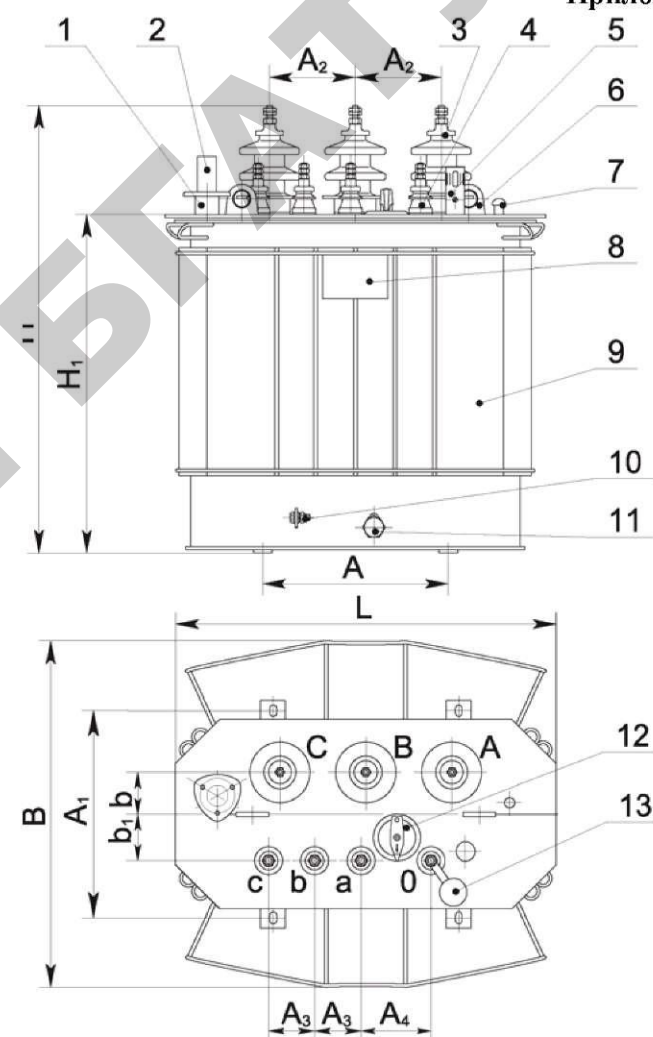


Общий вид и габаритные размеры ТМГ13 100–400 кВ·А:

1 – ролик транспортный (устанавливается по заказу потребителя в трансформаторах мощностью 160, 250, 400 кВ·А); 2 – зажим заземления; 3 – пробка сливная; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – маслоуказатель; 7 – ввод НН; 8 – ввод ВН; 9 – гильза термометра; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – серьга для подъема трансформатора*; 12 – переключатель; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

*Трансформатор мощностью 400 кВ·А изготавливается с серьгами для подъема, расположенными на баке.

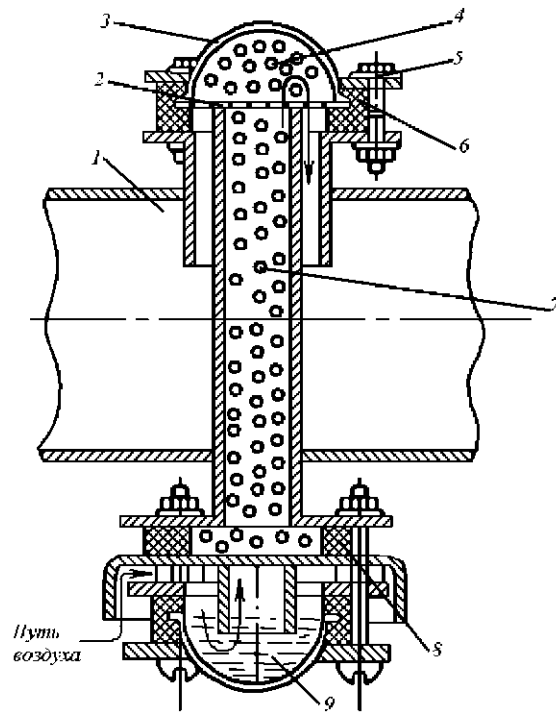
Приложение 16



Общий вид и габаритные размеры ТМГ13 630–1000 кВ·А:

1 – ролик транспортный; 2 – пробка сливная; 3 – зажим заземления; 4 – бак; 5 – табличка; 6 – гильза для стеклянного термометра и термобаллона манометрического термометра; 7 – маслоуказатель; 8 – ввод ВН; 9 – ввод НН; 10 – патрубок для заливки масла; 11 – переключатель; 12 – серьга для подъема трансформатора; 13 – пробивной предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)

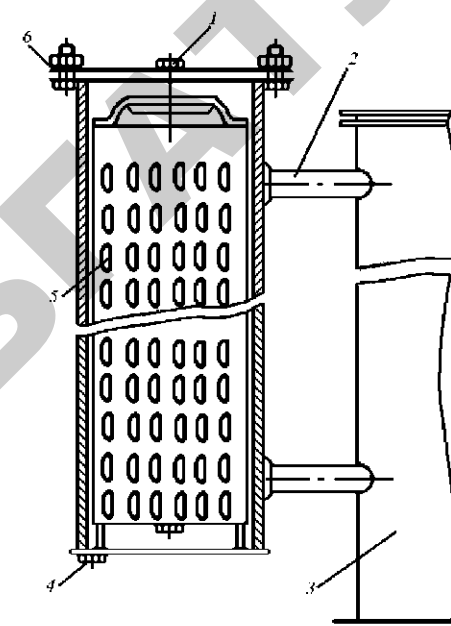
Приложение 17



Воздухоосушитель:

1 – труба маслорасширителя; 2 – решетка; 3 – колпак прозрачный; 4 – силикагель-индикатор; 5 – фланец; 6 – уплотнение; 7 – сорбент; 8 – уплотнение; 9 – масло

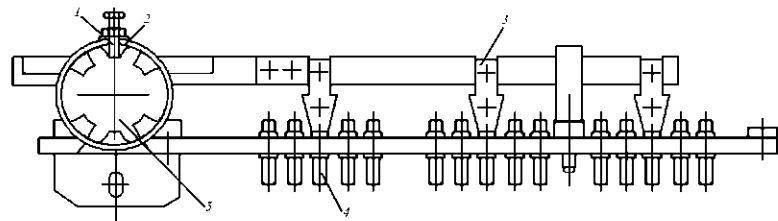
Приложение 18



Термосифонный фильтр:

1 – пробка для спуска воздуха; 2 – маслостовод; 3 – бак трансформатора; 4 – пробка для спуска осадков; 5 – решетка с сорбентом; 6 – крышка

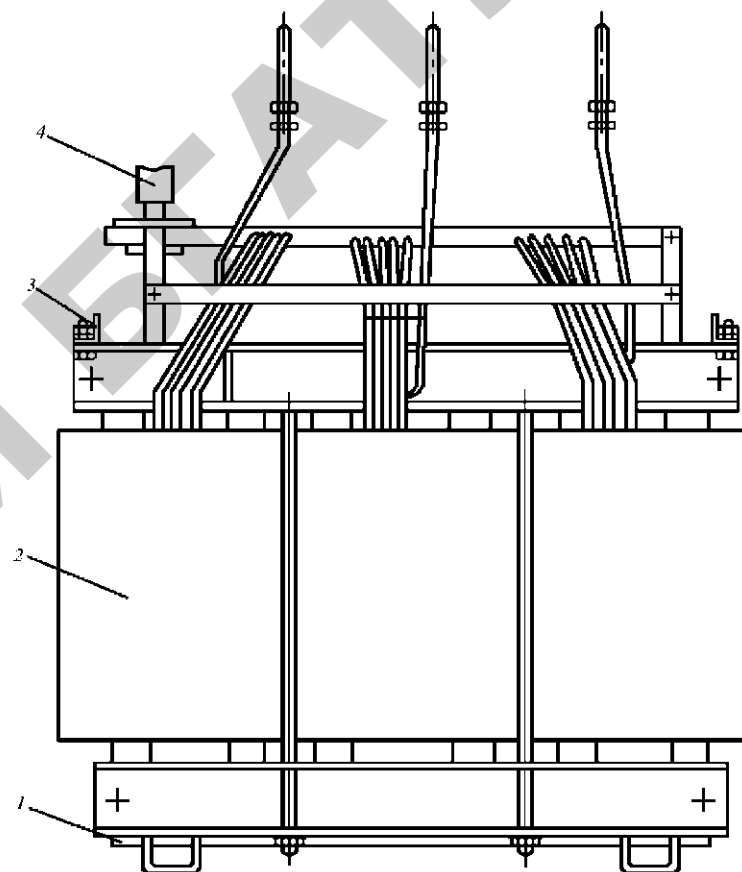
Приложение 19



Высоковольтный переключатель:

1 – фиксатор; 2 – либм переключателя; 3 – подвижный контакт; 4 – неподвижные контакты; 5 – колпак переключателя

Приложение 20



Активная часть:

1 магнитопрод; 2 обмотки ВН и НН; 3 уголок; 4 переключатель

Приложение 21

Дефектовочная ведомость силовых масляных трансформаторов

Составлен _____
 Заводской № _____ трансформатора
 Тип _____ мощность _____ кВА
 Частота тока _____ Гц, схема и группа соединения _____
 Сторона ВН: напряжение _____ В, ток _____ А
 Сторона НН: напряжение _____ В, ток _____ А
 Масса масла _____ кг, полная масса _____ кг

В результате дефектации установлено:

Целостность обмоток

Положение переключателя	Обмотка высшего напряжения			Обмотка низшего напряжения		
	А В	В-С	С-А	a-b	b-c	c-a
I						
II						
III						
IV						
V						

Сопротивление изоляции обмоток и коэффициент абсорбции

Измерения	Сопротивление изоляции, МОм		$K_{аб}$
	R_{15}	R_{60}	
Бак-обмотка ВН			
Бак-обмотка НН			
Обмотки ВН-НН			

Коэффициент трансформации

Положение переключателя	Напряжение, В						Коэффициент трансформации		
	Вышей стороны			Низшей стороны			K_T A-B	K_T B-C	K_T C-A
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}			
I									
II									
III									
IV									
V									

Заключение (по полученным результатам измерений) _____

1. Бак, радиаторы, расширитель, арматура, тележки:
 - 1.1. Состояние бака, сварных швов _____
 - 1.2. Состояние радиаторов _____
 - 1.3. Состояние расширителя _____
 - 1.4. Состояние воздухоосушителя _____
 - 1.5. Состояние арматуры _____
 - 1.6. Состояние тележки _____
 - 1.7. Состояние трансформаторного масла:
 - 1.7.1. уровень _____
 - 1.7.2. температура _____
 - 1.8. Состояние термосифонного фильтра _____
 - 1.9. Состояние уплотнений _____
 - 1.10. Состояние заземления бака _____
 - 1.11. Состояние ртутного термометра _____
 - 1.12. Состояние дистанционного термометра _____
 - 1.13. Дополнительные данные _____
2. Выводы:
 - 2.1. Состояние проходных изоляторов ВН _____
 - 2.2. Состояние проходных изоляторов НН _____
 - 2.3. Состояние шпилек _____
 - 2.4. Состояние уплотняющих прокладок _____
 - 2.5. Дополнительные данные _____
3. Переключатель регулировочных отводов и РПН:
 - 3.1. Состояние контактов _____

- 3.2. Состояние устройств переключения _____
- 3.3. Состояние изолирующих частей переключателя _____
- 3.4. Дополнительные условия _____
4. Обмотки и отводы:
- 4.1. Наличие грязи и шлама на обмотках, между катушками _____
- 4.2. Состояние охлаждающих каналов (перекосы, наличие посторонних предметов и т. п. _____
- 4.3. Состояние витковой изоляции (по внешнему виду) _____
- 4.4. Состояние изоляции между катушками (дистанционных прокладок) _____
- 4.5. Состояние бакелитовых цилиндров _____
- 4.6. Состояние ярмовой изоляции _____
- 4.7. Наличие смещений или деформации в обмотках _____
- 4.8. Состояние прессовки обмоток _____
- 4.9. Состояние паск _____
- 4.10. Состояние отводов и креплений _____
- 4.11. Дополнительные условия _____
5. Магнитопровод:
- 5.1. Состояние листов стали (по внешнему осмотру) _____
- 5.2. Состояние прессовки _____
- 5.3. Признаки местных перегревов стали _____
- 5.4. Состояние заземлений _____
- 5.5. Состояние изоляции доступных стяжных шпилек: _____
- 5.5.1. верхнего ярма _____ $R_{из}$ = _____
- 5.5.2. нижнего ярма _____ $R_{из}$ = _____
6. Дополнительные условия:
- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

Условия проведения дефектации трансформатора:

1. За время ремонта активная часть трансформатора находилась на открытом воздухе _____ ч, в масле _____ ч.
2. Температура воздуха на рабочем участке t _____ °С.

При выполнении ремонта дополнительно к зафиксированным в данном акте обнаружены следующие дефекты

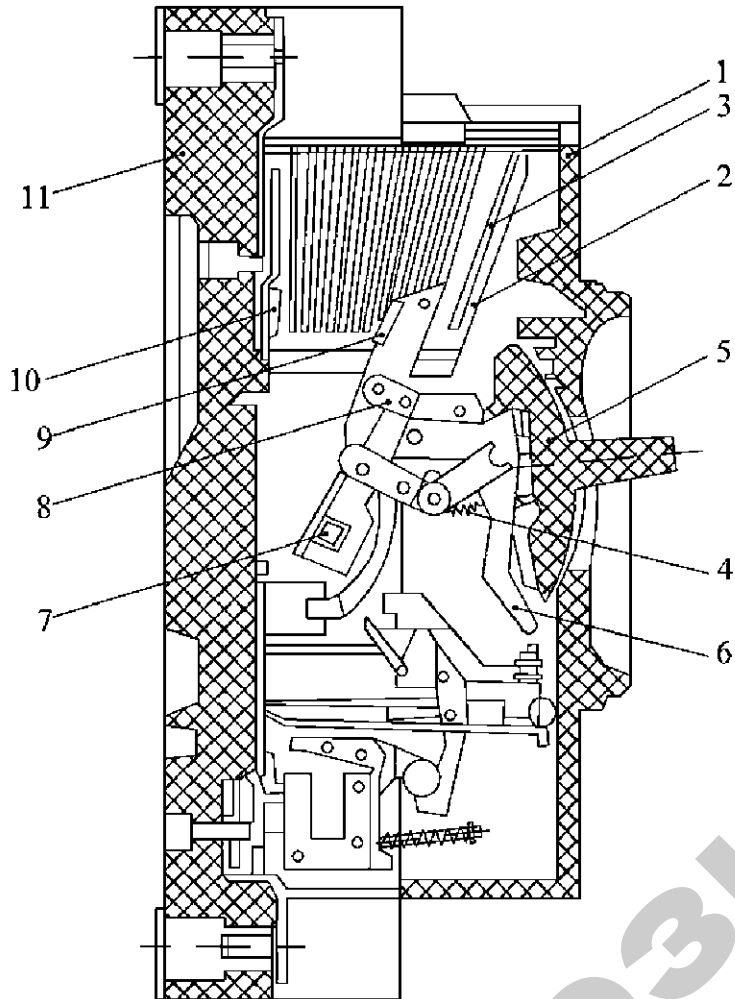
Наименование дефектов	Отметка об устранении или срок устранения

Дата

Подпись

(Ф. И. О.)

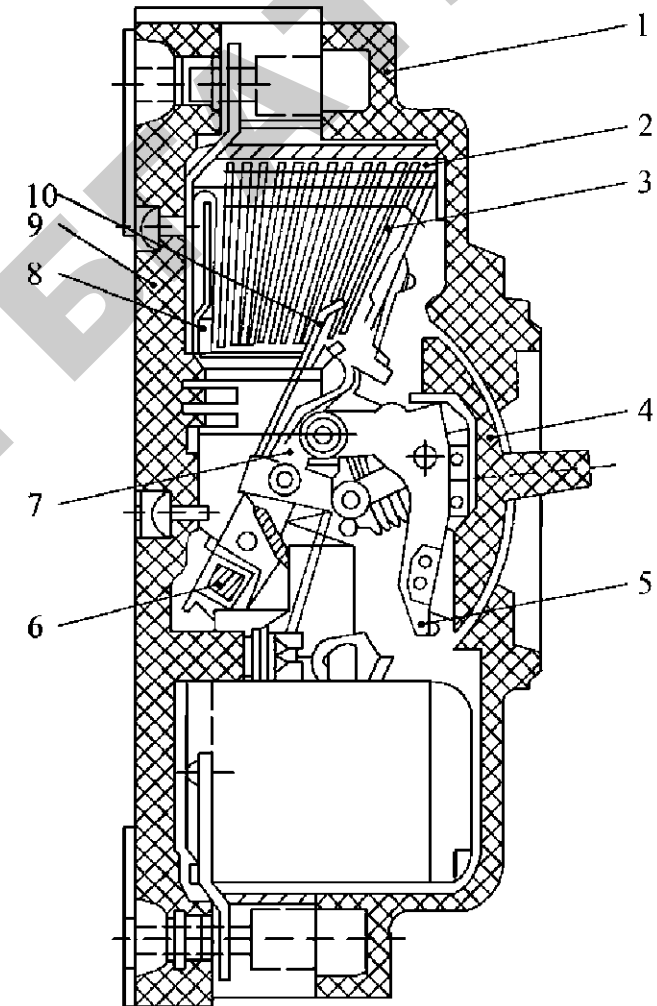
Приложение 22



Общий вид автоматического выключателя Л3114:

1 – крышка; 2 – дугогасительная камера; 3 – пластина дугогасительной камеры; 4 – пружина; 5 – рукоятка; 6 – рычаг; 7 – контактная траверса; 8 – рычаг подвижного контакта; 9 – подвижный контакт; 10 – неподвижный контакт; 11 – корпус

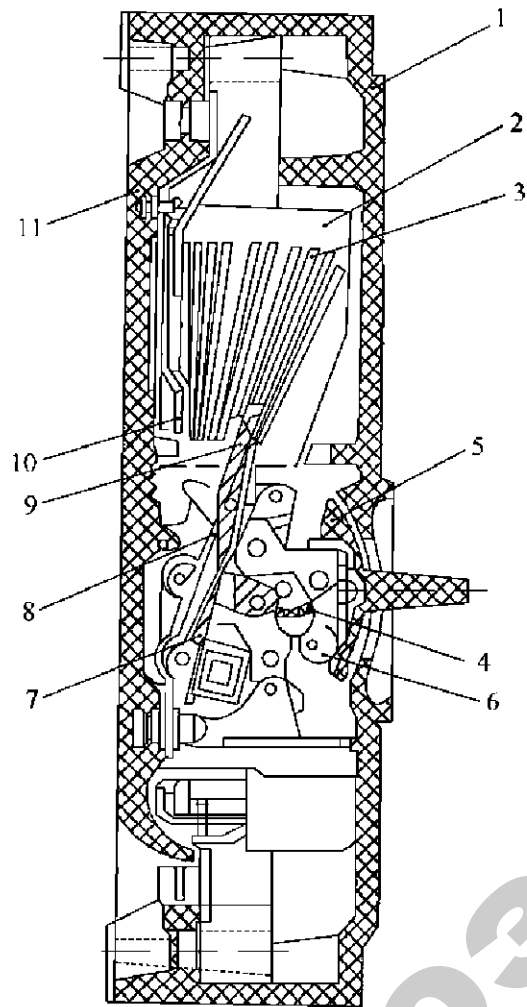
Приложение 23



Общий вид автоматического выключателя Л3124:

1 – крышка; 2 – дугогасительная камера; 3 – пластина дугогасительной камеры; 4 – рукоятка; 5 – рычаг; 6 – контактная траверса; 7 – рычаг подвижного контакта; 8 – подвижный контакт; 9 – неподвижный контакт; 10 – корпус

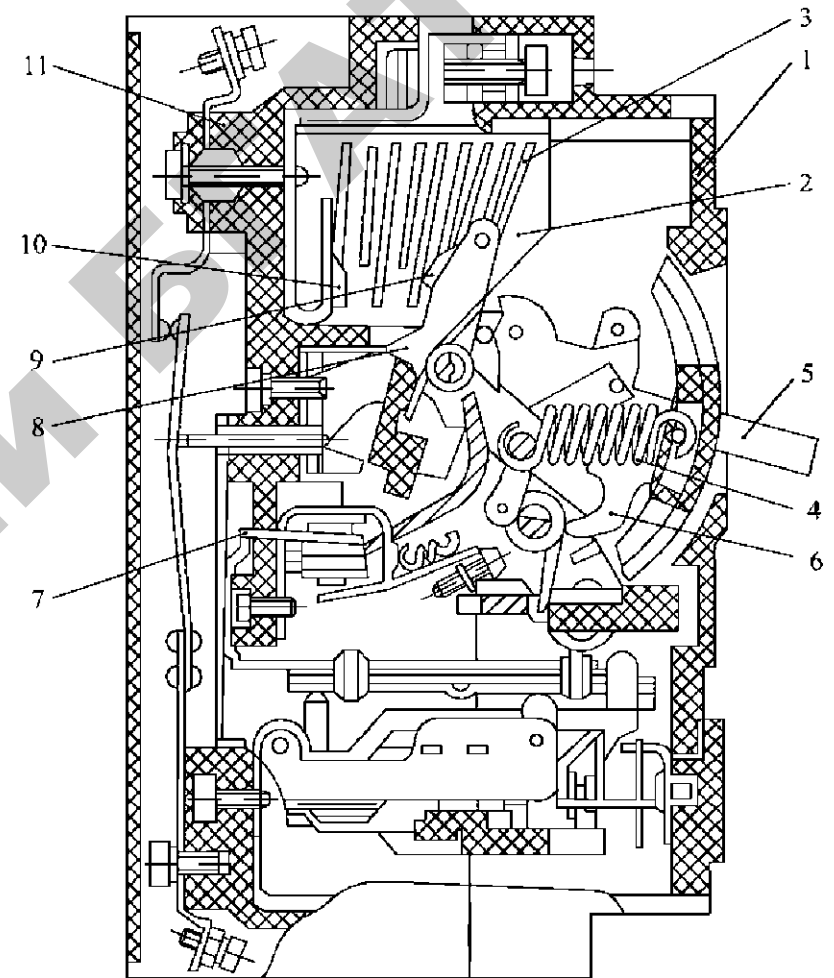
Приложение 24



Общий вид автоматического выключателя А3134:

1 – крышка; 2 – дугогасительная камера; 3 – пластина дугогасительной камеры; 4 – пружина; 5 – рукоятка; 6 – рычаг; 7 – контактная траверса; 8 – рычаг подвижного контакта; 9 – подвижный контакт; 10 – неподвижный контакт; 11 – корпус

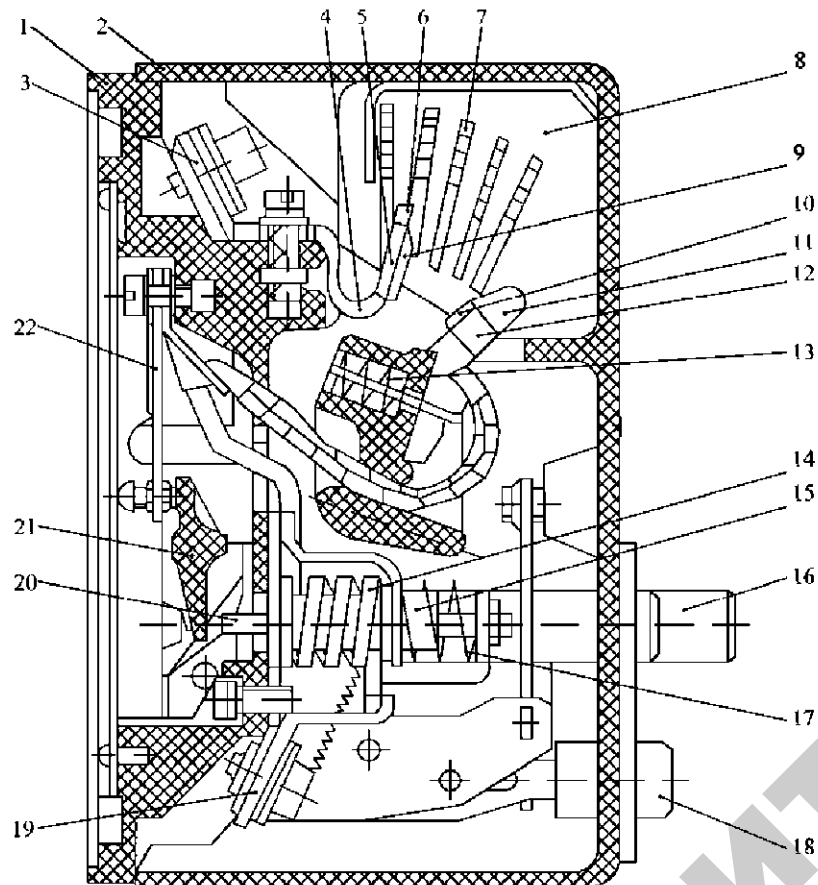
Приложение 25



Общий вид автоматического выключателя AF2000:

1 – крышка; 2 – дугогасительная камера; 3 – пластина дугогасительной камеры; 4 – пружина; 5 – рукоятка; 6 – рычаг; 7 – механизм управления; 8 – рычаг подвижного контакта; 9 – подвижный контакт; 10 – неподвижный контакт; 11 – корпус

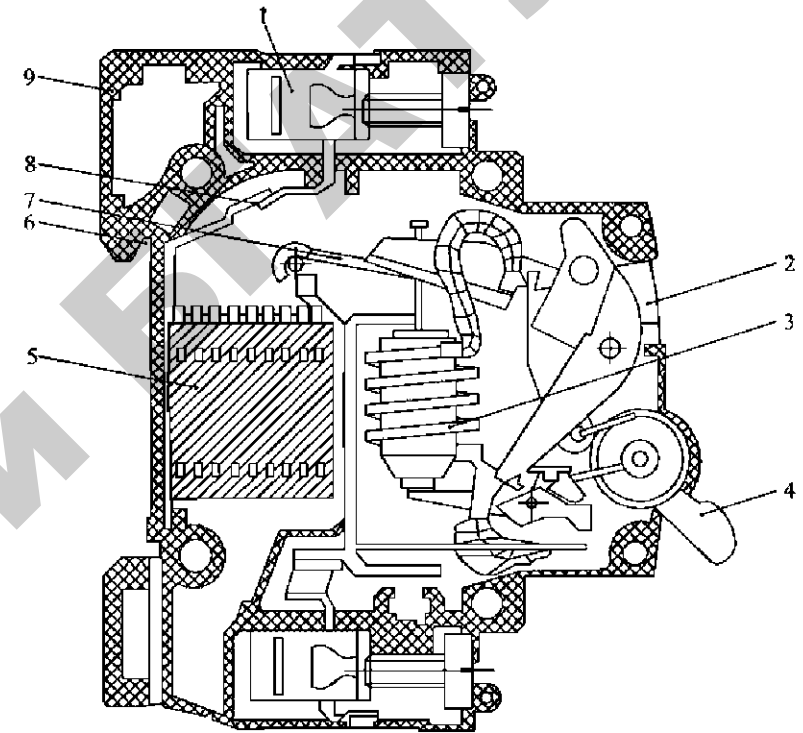
Приложение 26



Общий вид автоматического выключателя АП50Б:

1 – основание; 2 – крышка; 3 – зажим; 4 – электродинамическая петля; 5 – неподвижный контакт; 6 – дугогасительный рог; 7 – стальная пластина; 8 – дугогасительная камера; 9 – контактная накладка; 10 – контактная накладка; 11 – дугогасительный рог; 12 – подвижный контакт; 13 – пружина; 14 – обмотка электромагнитного расцепителя; 15 – якорь; 16 – кнопка включения (светлого цвета); 17 – пружина; 18 – кнопка отключения (красного цвета); 19 – зажим; 20 – шток; 21 – рейка механизма свободного расцепителя; 22 – биметаллический расцепитель.

Приложение 27



Общий вид автоматического выключателя ВА 47-63:

1 – зажимы с насечкой для фиксации внешних проводников; 2 – указатель «ВКЛ/ВЫКЛ»; 3 – катушка электромагнитного расцепителя; 4 – рукоятка; 5 – дугогасительная камера; 6 – посадочное место на 35-мм DIN-рейку; 7 – контакты повышенной износостойкости; 8 – контактное соединение; 9 – корпус из термостойкой АВС-пластмассы, не поддерживающей горение

Классы электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Температура, °С	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
<i>Y</i>	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
<i>A</i>	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного и синтетического шелка, пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
<i>E</i>	120	Синтетические органические материалы или простые их сочетания
<i>B</i>	130	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами
<i>F</i>	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, которые соответствуют данному классу нагревостойкости
<i>H</i>	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
<i>C</i>	Свыше 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц или их комбинации, применяемые без связующих или с неорганическими и элементорганическими составами. Температура применения этих материалов определяется их физическими, химическими, механическими и электрическими свойствами

Изоляционные ленты из поливинилового пластика

Марка	Ширина, мм	Толщина, мм
ЛВ-40, ЛВ-50, ЛВ-40Т	10	0,65
	13	0,55
	15	0,65; 1,5
	18	0,55
	20	0,55; 0,9; 1,5
	40	0,55; 0,9; 1,35
	50	0,9
	105	1,5

Изоляционные ленты хлопчатобумажные

Наименование	Ширина, мм	Толщина, мм
Киперная	10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50	0,45
Тафтяная	10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50	0,25
Миткалевая	12; 16; 20; 25; 30; 35	0,22
Батистовая	10; 12; 16; 20	0,12; 0,16; 0,18

Электроизоляционные лаки и эмали

Марка	Режим высыхания		Разбавитель	Область применения
	Температура сушки, °С	Время сушки, ч		
Битумно-масляный лак				
БТ-987	105	6	Бензин, толуол, скипидар, растворитель	Пропитка обмоток
БТ-988	105	3	То же	То же
Глифталево-масляный лак				
ГФ-95	105	1-2	Ксилол, скипидар, сольвентнафта и их смеси	Пропитка и покрытие обмоток масляных трансформаторов
Алкидно-меламиновый лак				
МЛ-92	105	1	Смесь толуола с бензином и растворителем	Пропитка обмоток статоров и роторов асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт
Эпоксидная эмаль				
ЭП-91	190	1,5	Толуол, ксилол, этиловый спирт и их смеси	Покрытие лобовых частей, узлов и деталей электрических машин и аппаратов, работающих при температуре до 180 °С

Марка	Режим высыхания		Разбавитель	Область применения
	Температура сушки, °С	Время сушки, ч		
Кремнийорганические эмали				
КО-935	120	1–2	Толуол	Покрытие лобовых частей, секций, катушек и других деталей электрических машин и аппаратов, работающих при температуре 180°С
КО-911	20	20–24	То же	Ремонтная, для лобовых секций, катушек и других узлов электрических машин и аппаратов. Отделка различных изоляционных деталей
КО-936	200	2–3	То же	Покрытие обмоток секций, катушек и других частей электрических машин
Эмаль на основе глифталевых и карбамидных смол				
У-416	105	10,5	Смесь ксилола и бутанола	Окрашивание баков трансформаторов и других видов оборудования

Изоляционная стеклоткань

Марка	Толщина, мм	Область применения
ЛСМ-105/120	0,15; 0,17; 0,2; 0,24	Для работы на воздухе при нормальных климатических условиях
ЛСММ-105/120	0,17; 0,2; 0,24	Для работы в горячем трансформаторном масле с температурой до 105 °С
ЛСЭ-105/120	0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24	Для работы на воздухе при повышенной влажности (относительная влажность 95 % при t = 20 °С)

Изоляционный электрокартон

Марка	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 50 Гц, МВ/м
ЭВ	0,1–3	950–1150	8–12
ЭВС	0,2–0,4	1250	10–12
ЭВП	0,1–0,2	1250	9–12
ЭВТ	0,1–0,5	1150	9–13

Размеры листового асбеста

Толщина, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Размер листов, мм
2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10	1000–1300	900×900; 900×1000; 1000×1000

Характеристика электроизоляционных материалов

Материалы	Плотность, г/см ³	Диэлектрическая проницаемость	tgδ при 50 Гц	Прочность, кН/см	Уд. объемное сопротивление при 20 °С, Ом·см	Допустимая рабочая температура, °С	Теплопроводность, Вт/(см·°С)	Теплоемкость, Вт·с/(г·°С)
Абест	2,6	—	0,07	20	10 ¹⁴	450	0,0018	0,82
Асбестоцемент	2,0	7,0	0,2	20-30	10 ¹	250	—	—
Бакелит, смола	1,25	7,0	0,05-0,12	150-200	10	150	—	—
Битумал	1,0	3,0	0,005	250	10	18-90	0,006	2,2
Бумага	0,7-1,0	2,5-3,0	0,02	80-90	10 ¹²	90	0,0013	1,5
Воздух	0,00121	1,0006	0	30	10	—	0,00025	1,5
Гетинакс	1,35	7,0	0,02-0,05	150-230	10	150	0,0017	0,3-0,4
Дерево	0,6-0,9	3-4	0,2	20-60	10 ¹²	100-110	0,003	—
Капифоль	1,1	3,5	0,005	100-150	10	65	—	—
Карболит	1,1	6,0	0,05	140	10 ¹²	120	—	—
Лакоткань	1,0	4-6	0,06-0,09	240-650	10 ¹¹	150	0,0025	—
Мрамор	2,8	7-8	0,005	5-10	10 ¹¹	100	0,03	0,89
Мягкая резина	1,7-2,0	2-8	0,005-0,08	150-250	10 ¹⁵	50	0,001	—
Парафит	0,9-0,93	2,25	0,0005	300	10	50	0,002	2,5
Полихлорвинил	1,3	4,7	0,01-0,1	100-200	10	65	—	—
Слюда	2,8	6,7	0,0001	1000	10	500	0,0036	0,7
(мусковит)	2,6-6	7,5-5,3	0,006-0,01	100-150	10	—	0,011	0,8-0,9
Стекло	0,89	2,2	0,0002	70-120	10	95	0,002	1,8
Трансф. масло	2,4	5,5-6	0,017	100-200	10 ¹¹	—	0,01	—
Фарфор	1,0	3,1	0,009	120-240	10	80	0,003	—
Шеллак	2,8	6-7	0,1	6-10	10	200	0,02	0,8
Пифер	0,9-1,5	3	0,03	90-130	10 ¹²	90	0,0017	—
Электрокартон								

Электроизоляционные материалы

Наименование	Класс нагревостойкости	Размеры, мм	Композиция	Назначение
Синтофлекс 41	F(120 °С)	Толщина 0,17-0,45	Электрокартон + ПЭТ*	Пазовая изоляция, крышка-клин, межслойные прокладки электрических машин малой мощности для механизированной изолировки статоров
Синтофлекс 141	B(130 °С)		ПЭТ + электрокартон+ПЭТ	
Синтофлекс 515	B(130 °С) F(155 °С)	Толщина 0,23-0,47	Полиэфирная бумага + ПЭТ+ полиэфирная бумага	Пазовая, изоляция, крышка-клин, межслойная изоляция в сухих трансформаторах для ручной изолировки статоров. Междуслойная изоляция в сухих трансформаторах низковольтных электрических машин для механизированной изолировки статоров
Синтофлекс 61	F(155 °С)		Полиэфирно-aramидная бумага + ПЭТ	

Наименование	Класс нагревостойкости	Размеры, мм	Композиция	Назначение
Изофлекс 191	F(155 °С)	Толщина 0,13–0,50	ПЭТ + стеклоткань + ПЭТ, эпоксидно-каучуковый состав	Пазовая изоляция электрических машин для ручной изолировки
Имидофлекс 292	H(180 °С)	Толщина 0,13–0,50	ПМ** + стеклоткань + ПМ, эпоксидно-каучуковый состав	Пазовая изоляция электрических машин для ручной изолировки,
Имидофлекс 929		Толщина 0,2–0,5	Стеклоткань + ПМ + стеклоткань, эпоксидно-каучуковый состав	крышка-клин, межслойные прокладки
Ленты слюдинитовые ЛСК-110-ТПЛ	B(130 °С)	Толщина 0,08–0,15	Слюдяная бумага, стеклоткань, ПЭТ, эпоксидный компаунд или кремнийорганическое связующее	Витковая и корпусная изоляция крупных высоковольтных электрических машин и тяговых электродвигателей
Текстолит А, Б	A(105 °С)	Толщина 0,5–50,0, 60–100	Хлопчатобумажная ткань, фенолоформальдегидное связующее	Для изготовления деталей электро-технического назначения, для работы в трансформаторном масле и на воздухе

Наименование	Класс нагревостойкости	Размеры, мм	Композиция	Назначение
Стеклотекстолиты СТЭФ-1	F(155 °С)	Толщина 0,5–50,0	Стеклоткань, эпоксифенольное связующее	Для изготовления деталей электро-технического назначения
Лакоткань ЛШМ	A(105 °С)	Толщина 0,06–0,15	Шелковая ткань, масляное связующее	В качестве гибкого электро-изоляционного материала в электрических машинах и аппаратах
Стеклолакоткань ЛСК-1	H(180 °С)	Толщина 0,12–0,20	Стеклоткань, кремнийорганическое связующее	В качестве гибкого электро-изоляционного материала в электрических машинах и аппаратах
Стеклоленты ЛЭСБ	H(180 °С)	Ширина 20–40	Стекланная нить	Для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов и проводников до и выше 1000 В
Лента стекланная бандажная ЛСБЭ-180	F(155 °С)	Толщина 0,2 Ширина 20,0	Стекланная нить, пропитанные полиэфирно-эпоксидным и эпоксидным лаком	Для бандажирования якорей, роторов электрических машин

Наименование	Класс нагревостойкости	Размеры, мм	Композиция	Назначение
Лента стеклянная бандажная ЛСБЭ-180	H (180°C)	Внутренний диаметр 1-24	Кремний органическая резина	Для изоляции выводных и монтажных проводов, кабелей в электрооборудовании и радиоаппаратуре
Трубки ТКР	H (180°C)			
Трубки ТЛВ	A (105°C)	Внутренний диаметр 0,75-11,00	Хлопчатобумажный шнур-чулок, пропитанный электроизоляционным лаком	Для изоляции проводов электрических и радиотехнических изделий, работающих в условиях воздушной среды
Трубки ТКСП	H (180°C)	Внутренний диаметр 1,0-8,0	Аппретирированные кремнийорганическим лаком стеклошнур-чулки, покрытые оболочкой из кремнийорганической резины	Для изоляции токоведущих элементов различных электрических устройств. Влагостойкая

Наименование	Класс нагревостойкости	Размеры, мм	Композиция	Назначение
Трубки ПВХ ТВ-40	A (105°C)	Внутренний диаметр 1-24	Поливинилхлоридный пластикат	Для защиты и дополнительной изоляции проводов и кабелей, работающих при напряжении до 1000 В постоянного и переменного тока частотой 50 Гц
Шнур-чулок АСЭЧ	F (155°C)	4, 6	Польный шнур, сплетенный из стеклонитей	Для изоляции проводов
Лента саржсвая	A (105°C)	8	Пряжа хлопчатобумажная	Для верхнего защитного слоя изоляции катушек электрических машин
Лента киперная	A (105°C)	15, 20, 25	Пряжа хлопчатобумажная	
Лента лавсановая	A (105°C)	20, 30	Лавсановая нить	
Лента тафтяная	A (105°C)	15, 20, 30	Пряжа хлопчатобумажная	
Лак ПЭ-933 марка «П»	F (155°C)			Для пропитки обмоток машин

*ПЭТ – полиэтилентерефталатная пленка.

**ПМ – полиамидная пленка.

Провод эмалированный

Марка провода, температурный индекс	Диапазон изготовления, мм ²	Элементы конструкции	Применение
ПЭТВ-2 130 °С	0,063–2,5	Медная проволока, изоляция из полиэфирного лака	Провод применяется для изготовления обмоток температурного класса <i>B</i> : измерительных и регистрирующих приборов, телефонных капсулей, двигателей малой мощности, электромагнитов и сухих трансформаторов. Провод обладает отличными механическими свойствами, которые позволяют использовать провод для механизированной намотки. Устойчив к растворителям и кипящей воде
ПЭТ-155 155 °С	0,063–2,5	Медная проволока, изоляция из полиэфиримидного лака	Провод применяется для изготовления обмоток температурного класса <i>F</i> : силовых двигателей широкого применения, двигателей для домашних электроприборов и электроинструментов, генераторов, сухих трансформаторов, измерительных приборов, катушек и реле. Устойчив к растворителям

Марка провода, температурный индекс	Диапазон изготовления, мм ²	Элементы конструкции	Применение
ПЭТ-180 180 °С	0,063–2,5	Медная проволока, изоляция из полиэфиримидного лака	Провод применяется для изготовления обмоток температурного класса <i>H</i> : двигателей и сухих трансформаторов электрооборудования для промышленного и бытового применения, генераторов, измерительных приборов, катушек, реле, аппаратуры связи, а также компрессоров холодильных установок и кондиционеров, работающих в среде фреонов (хладонов). Термические свойства провода позволяют использовать провод в обмотках, подвергающихся длительным перегрузкам и воздействию высоких температур. Устойчив к растворителям
ПЭФД-2 180 °С	0,1–2,5	Провод медный с двухслойной изоляцией полиэфиримид + полиамидимид	Провод применяется для механизированной намотки обмоток компрессоров холодильных установок и кондиционеров, работающих в среде фреонов (хладонов), а также в маслонаполненных трансформаторах. Провод устойчив к растворителям, трансформаторному маслу и фреонам

Марка провода, температурный индекс	Диапазон изготовления, мм ²	Элементы конструкции	Применение
ПЭЭИД 200 °С	0,1–3,75		Провод применяется в высоконадежных устройствах с высокими термическими и механическими нагрузками
ПЭЭИДХ 200 °С	0,1–3,75		Хладостойкий провод применяется в высоконадежных устройствах с высокими термическими и механическими нагрузками

Провод обмоточный круглого и прямоугольного сечения

Наименование	Описание	Ед. изм.
ПСД	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из бесщелочного стекловолокна с подклейкой и пропиткой нагревостойким лаком	кг
АПСД	Провод алюминиевый, изолированный двумя слоями обмотки из бесщелочного стекловолокна с подклейкой и пропиткой теплостойким лаком	кг
ПСДК	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из бесщелочного стекловолокна с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком	кг
ПСДКТ	То же, но с утонченными слоями стекловолокна	кг
АПБ	Провод алюминиевый, изолированный бумагой	кг

Провод для вывода обмоток

Сечение, марка	Единица измерения
0,75 РКГМ	м
1,0 РКГМ	м
1,5 РКГМ	м
2,5 РКГМ	м
4,0 РКГМ	м
6,0 РКГМ	м
10,0 РКГМ	м
16,0 РКГМ	м
25,0 РКГМ	м
35,0 РКГМ	м
50,0 РКГМ	м

Провода предназначены для выводных концов температурного класса *H* (+180 °С) электрических машин и аппаратов на переменное напряжение до 660 В частотой до 400 Гц при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел

Использование припоев

Марка	Химический состав, % по массе	Температура, °С		Назначение
		плавления	пайки	
Оловяно-свинцовые				
ПОС-61	Олово – 61, свинец – остальное	190	240	Лужение, пайка меди и ее сплавов, токопроводящих частей машин и аппаратов
ПОС-61М	Олово – 61, медь – 2, свинец – остальное	192	240	То же, для мелких (менее 0,2 мм) деталей
ПОС-Су95-5	Олово – 95, сурьма – 5	240	290	Пайка коллекторов, якорных секций, бандажей, токопроводящих соединений электрических машин и деталей электрооборудования
Для пайки алюминия				
П250А	Олово – 80, цинк – 20	250	300	Лужение и пайка алюминиевых проводов
П300А	Цинк – 60, кадмий – 40	310	360	Пайка соединений, сращивания алюминиевых проводов круглого и прямоугольного сечения при намотке обмоток трансформаторов
П300Б	Цинк – 80, алюминий – 12, медь – 8	410	750	Пайка заливкой алюминиевых проводов с алюминиевыми и медными деталями

Окончание прил. 40

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Марка	Химический состав, % по массе	Температура, °С		Назначение
		плавления	пайки	
34А	Алюминий – 66, медь – 28, кремний – 6	525	650	Пайка изделий из алюминия и его сплавов
ПОС-Су40-2	Олово – 40, сурьма – 0,5, свинец – остальное	235	285	Пайка бандажей коллекторов и секций электрических машин, приборов, жестяных деталей
ПОС-Су30-2	Олово – 30, сурьма – 0,5, свинец – остальное	255	305	Пайка меди и ее сплавов, проводов, кабелей, бандажей и деталей аппаратуры
ПОС-40	Олово – 40, свинец – остальное	238	290	Пайка и лужение токопроводящих частей из меди, латуни, бронзы, оцинкованного железа
ПОСК 50-18	Олово – 51, кадмий – 19, свинец – остальное	145	185	Пайка деталей из меди и ее сплавов

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Селицкая Оксана Юрьевна,
Сакович Елена Анатольевна

РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск *Н. Е. Шевчик*
Редактор *Т. В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *Д. О. Сенькевич*

Подписано в печать 10.10.2012 г. Формат 60/84^{1/16}.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 15,81. Уч.-изд. л. 12,36. Тираж 170 экз. Заказ 182.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330-0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330-0552743 от 02.02.2010.
Пр-т Независимости, 99 2, 220023, Минск.