

Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на испытания электродвигателей переменного тока всех типов и напряжений, применяемых в электроустановках Ухтинского РНУ.

Испытания электродвигателей переменного тока проводятся для оценки состояния изоляции и выявления образующихся в ней дефектов.

Для изоляции обмоток электрических машин применяется большое количество разнообразных электроизоляционных материалов (бумага, лакоткань, асбест, микалента, миканит, эскапон, лаки, компауды и т.п.), выбор которых определяется условиями работы машины и характеризуется нагревостойкостью, относительной влажностью окружающей среды, регламентным числом пусков и реверсов, механической прочностью, озоностойкостью и другими критериями.

Изоляция электрических машин является наиболее существенной частью, которая определяет надёжность и срок службы машины в основном по причине старения под действием различных факторов.

Основной причиной повреждения изоляции электродвигателей является совместное действие тепловых, механических и электрических воздействий, а также влияние окружающей среды (влажность, загрязнённость, высокая температура и т.д.). Тепловое старение органических составляющих изоляции (смолы, бумага, ткани) сильно снижает электрическую прочность машинной изоляции. Неорганические составляющие (слюда, стекло, асбест) не подвержены тепловому старению при обычных для электродвигателей рабочих температурах. Тепловое старение делает изоляцию уязвимой для механических воздействий. При работе машин их обмотки подвергаются воздействию электрических усилий от действия электромагнитных сил при нормальных или аварийных режимах, что приводит к их перемещению. Кроме того, обмотки подвержены воздействию сил, возникающих при тепловых расширениях неодинаковых для различных частей.

Для новой изоляции все эти воздействия не представляют большой опасности, но при потере механической прочности, изоляция менее способна противостоять обычным условиям вибрации или ударов, разности тепловых расширений и сжатий меди, стали и конструктивных деталей.

В силу вышесказанного, в процессе эксплуатации прочность изоляции машин снижается (Рис. 1.1). Как видно из рисунка, прочность изоляции снижается интенсивно в первые годы работы, а затем это снижение уменьшается. Через несколько лет после ввода машины в эксплуатацию прочность её изоляции снижается примерно на 30%.

Уровень прочности изоляции электродвигателей при перенапряжениях характеризуется коэффициентом импульса:

$$U_{\Pi} = U_{\text{имп}}/U_{-}$$

где: $U_{\text{имп}}$ – импульсное пробивное напряжение
 U_{-} – амплитудное значение переменного (выдерживаемого в течение 1 минуты) напряжение

Обычно для новой изоляции среднее значение $K_{\Pi} = 1,22-2,0$. Для состарившейся изоляции при наличии дефектов K_{Π} снижается до 1,0 и даже 0,5-0,8. Такое же положение имеет место для витковой изоляции.

Наиболее характерными видами дефектов изоляции обмоток электрических машин являются местные дефекты (трещины, расслоения, воздушные включения, местные перегревы, истирания и т.п.), охватывающие незначительную часть площади изоляции.

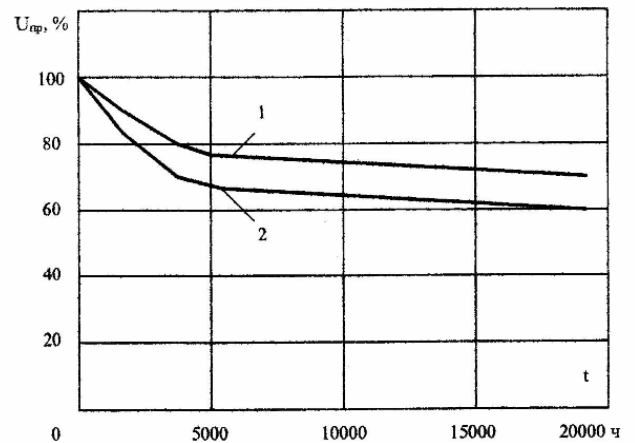


Рис. 1.2 Зависимость электрической прочности (процент от прочности новой изоляции) при 50 Гц от числа часов работы в эксплуатации: 1 - для отечественных машин; 2 - по данным США.

Оценка качества изоляции обмоток, концевых выводов и других элементов вращающихся машин производится при монтаже и в процессе эксплуатации и включает в себя внешний осмотр, проверку правильности маркировки выводов и полярности обмоток, измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции, измерения тока утечки на выпрямленном напряжении, испытание повышенным напряжением промышленной частоты, измерение сопротивления обмоток постоянному току, измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора, измерение зазоров в подшипниках скольжения, проверка работы электродвигателя на холостом ходу, измерение вибрации подшипников электродвигателя, измерение разбега ротора в осевом направлении, проверка работы электродвигателя под нагрузкой, проверка исправности стержней короткозамкнутых роторов, испытание возбудителей.

Не все перечисленные выше испытания проводятся персоналом электролаборатории: так измерение вибрации подшипников и измерение разбега ротора в осевом направлении, измерение производится персоналом РММ после проведения балансировки ротора. Данные измерения и работы по проведению балансировки производятся в плановые ремонты электродвигателя, при необходимости после проведения электрических испытаний изоляции ротора и статора (для синхронных машин), или только статора (для машин с короткозамкнутым ротором).

Работы по измерению воздушного зазора между сталью ротора и статора и измерение зазоров в подшипниках скольжения проводятся персоналом службы механика непосредственно на НПС.

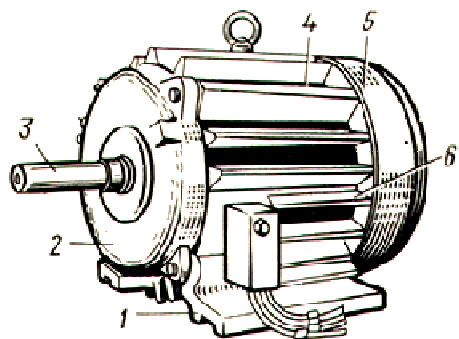


Рис. 1-10. Общий вид закрытой электрической машины:

1 – лапы для крепления, 2 – подшипниковый щит, 3 – вал, 4 – станина, 5 – кожух, 6 – охлаждающие ребра

Общий вид электродвигателя переменного тока напряжением 0,4кВ представлен на рисунке 1-10.

В электроустановках применяются электродвигатели различных типов, размеров и мощности. В качестве электродвигателей магистральных насосных агрегатов используются синхронные электродвигатели типа СТД, мощностью 2500кВт и номинальным напряжением 10кВ. Остальные электродвигатели переменного тока работают в механизмах вспомогательных систем.

Основное внимание при проведении испытаний следует уделять электродвигателям магистральных насосных агрегатов т.к. эти электродвигатели находятся в эксплуатации более 25 лет, и, кроме того, стоимость замены вышедшего из строя электродвигателя очень высока.

Электродвигатели вспомогательных систем малы по мощности в сравнении с СТД и менее дороги, несмотря на это обстоятельство,

испытание следует проводить своевременно и с достаточной тщательностью.

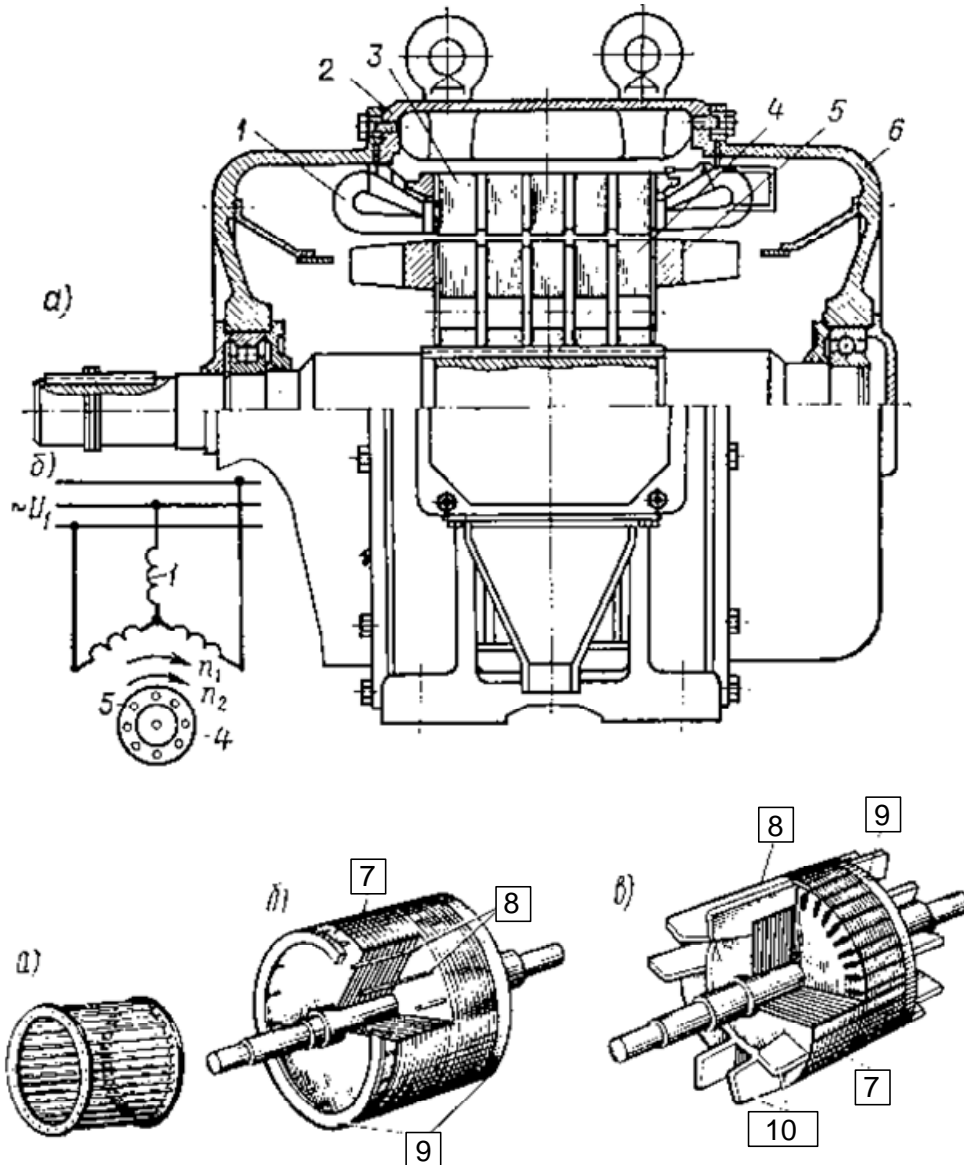
Электрические испытания электродвигателей должны проводиться специально обученным персоналом с учётом следующих положений:

1. профилактические испытания должны, как правило, совмещаться с текущими и капитальными ремонтами электродвигателя.
2. перед испытаниями электродвигатель следует тщательно осмотреть, изучить заводскую документацию на него, подготовить приборы и приспособления.
3. во время испытания должно производиться непрерывное наблюдение с безопасного расстояния за состоянием электродвигателя.
4. заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации производится на основании сравнения данных, полученных при испытании с заводскими данными, данными предыдущих испытаний и требованиями НТД.

Пуск электродвигателя в работу (для измерения тока холостого хода и вибрации подшипников) осуществляется после окончания всех остальных испытаний и обработки полученных при этом материалов.

Объект испытания.

Асинхронные электродвигатели.



*Рисунок 2. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и конструкция ротора.
1 - обмотка статора, 2 - станина, 3 - сердечник статора, 4 - сердечник ротора, 5 - обмотка ротора,
6 - подшипниковый щит, 7 - сердечник ротора в увеличенном виде, 8 - стержни, 9 -
короткозамкнутые кольца, 10 - лопасти вентилятора.*

Конструктивно асинхронные электродвигатели переменного тока подразделяются на два основных типа: с фазным ротором и с короткозамкнутым ротором. Эти типы электродвигателей имеют одинаковую конструкцию статора и отличаются лишь формой выполнения ротора.

На рисунках 2 и 3 представлены оба типа асинхронных электродвигателей с указанием важнейших конструктивных элементов. Асинхронные электродвигатели напряжением до и выше 1000В конструктивно принципиально не отличаются, всё отличие сводится к усилению изоляции с ростом напряжения статора.

Электродвигатели напряжением выше 1000В выполняют большей мощности, чем электродвигатели напряжением до 1000В. Соответственно высоковольтные электродвигатели имеют большие размеры, что вносит некоторые особенности в порядок проведения их испытания.

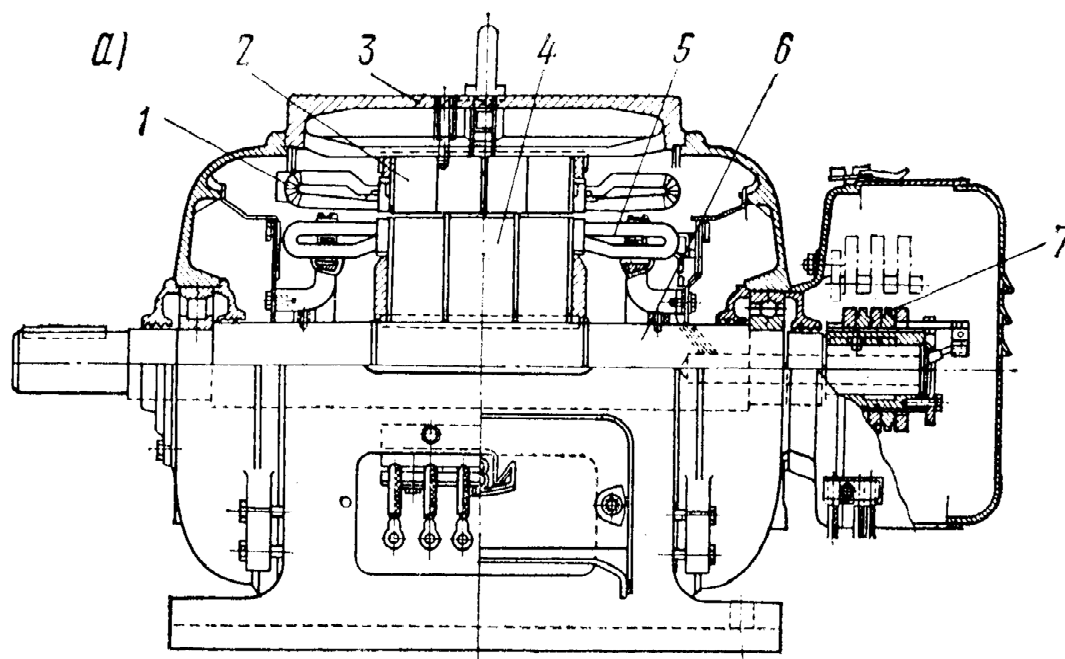


Рисунок 3. Асинхронный электродвигатель с фазным ротором.
1 - обмотка статора, 2 - сердечник статора, 3 - станина, 4 - сердечник ротора, 5 - обмотка ротора, 6 - вал, 7 - кольца.

Синхронные электродвигатели:

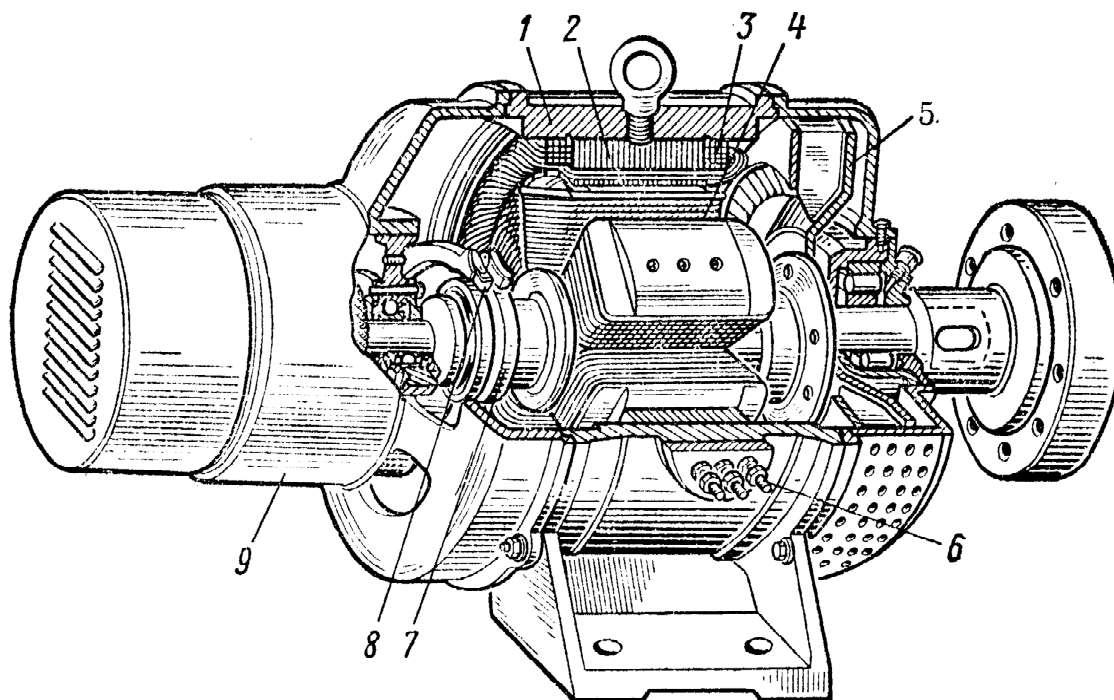


Рисунок 4. Устройство явнополюсной синхронной машины.
1 - корпус, 2 - сердечник статора, 3 - обмотка статора, 4 - ротор, 5 - вентилятор, 6 - выводы обмотки статора, 7 - контактные кольца, 8 - щётки, 9 - возбудитель.

Статор синхронного электродвигателя конструктивно выполнен аналогично статору асин-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

хронного электродвигателя. Ротор синхронного электродвигателя кардинально отличается по конструкции от ротора асинхронного электродвигателя с его замкнутой беличьей клеткой (электродвигатель с короткозамкнутым ротором). Обмотка ротора, которая питается от источника постоянного тока, называют обмоткой возбуждения. Вращающуюся обмотку ротора соединяют с внешним источником тока (возбудителем) посредством контактных колец и щёток, в этом синхронный электродвигатель схож с асинхронным электродвигателем с фазным ротором. Кроме ротора с контактными кольцами синхронные электродвигатели могут снабжаться безщёточными возбудительными устройствами (БВУ). Внешний вид синхронного электродвигателя с БВУ представлен на рисунке 4.1. Принцип работы электродвигателя от конструкции возбудительного устройства не меняется.



Рисунок 4.1 Синхронный электродвигатель с БВУ (безщёточным возбудительным устройством)

БВУ представляет собой небольшой по мощности генератор, который служит для питания ротора электродвигателя постоянным током – током возбуждения. Таким образом, выработанная генератором БВУ электроэнергия используется только для возбуждения синхронного электродвигателя.

Синхронный электродвигатель является обрабатываемой машиной и может работать и как электродвигатель и как генератор. В режиме генератора генерируемое напряжение снимается с обмотки статора машины, при этом обмотка возбуждения выполняет одну и ту же функцию (как для двигателя, так и для генератора). Частота вращения ротора синхронного электродвигателя жестко привязана к частоте питающей сети, что является важнейшим эксплуатационным свойством данного типа машин.

Определяемые характеристики.

Проверка правильности маркировки выводов и полярности обмоток электродвигателя производится для определения возможных заводских ошибок в соединении обмоток в звезду или в треугольник, а также для сверки маркировки обмоток с паспортными данными (при наличии указаний

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru
в паспорте электродвигателя).

Соединение обмоток электродвигателя должно соответствовать схеме соединения – не должно быть встречного включения обмоток (что может привести к повреждению электродвигателя при включении в сеть). Маркировка выводов обмоток может быть любой: ранее в большинстве электродвигателей использовалась маркировка С1-С4 и С2-С5 и С3-С6, но в настоящее время с внедрением большого числа электродвигателей иностранного производства маркировка выводов может быть различной.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ является основным показателем состояния изоляции статора и ротора электродвигателя.

Одновременно с измерением сопротивления изоляции обмотки статора определяют коэффициент абсорбции. Измерение сопротивления изоляции ротора проводится у синхронных электродвигателей и электродвигателей с фазным ротором на напряжение 3кВ и выше или мощностью более 1МВт. Сопротивление изоляции ротора должно быть не ниже 0,2МОм.

Коэффициент абсорбции в эксплуатации обязательно определять только для электродвигателей напряжением выше 3кВ или мощностью более 1МВт.

Значение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции указаны в таблице 1.

Таблица 1. Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для обмоток статора электродвигателей.

Мощность, номинальное напряжение электродвигателя, вид изоляции	Критерии оценки состояния изоляции обмотки статора				
	Значение сопротивления изоляции (МОм)				Значение коэффициента абсорбции
Мощность 5МВт и ниже, напряжение выше 1кВ, терморезистивная изоляция	Не ниже 10МОм на киловольт номинального линейного напряжения				Не менее 1,3
Двигатели с микалентной компаудированной изоляцией, напряжением 1кВ, мощность от 1 до 5МВт включительно, а также двигатели меньшей мощности наружной установки с такой же изоляцией напряжением свыше 1кВ	T (°C)	3кВ	6кВ	10кВ	Не менее 1,2
	10	30	60	100	
	20	20	40	70	
	30	15	30	50	
	40	10	20	35	
	50	7	15	25	
	60	5	10	17	
75	3	6	10		
Напряжением ниже 1кВ, все виды изоляции	Не ниже 1МОм				-

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится у электродвигателей для сравнения различных фаз обмоток между собой, с заводскими данными (указаны в паспорте электродвигателя), или с данными предыдущих испытаний, а обмотки возбуждения синхронных электродвигателей – для сравнения с данными предыдущих испытаний, или заводскими данными. Полученные данные не должны отличаться друг от друга (одна фаза или группа обмоток от другой фазы или группы) и от исходных данных больше чем на 2%.

Измеренные значения должны быть приведены к температуре заводских измерений.

Для реостатов и пусковых резисторов, установленных на электродвигателях напряжением 3кВ и выше, сопротивление измеряется на всех ответвлениях. Для электродвигателей ниже 3кВ измеряется общее сопротивление реостатов и пусковых резисторов и проверяется целостность отпаек.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току небольших по мощности электродвигателей номинальным напряжением 0,4кВ проводится для оценки общего состояния электродвигате-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

ля. В электродвигателях данного типа расхождение по сопротивлению может быть выше 2%. Максимальное различие в сопротивлении не должно превышать 4%. Это не относится к электродвигателям с номинальным напряжением 0,4кВ и мощностью от 30кВт и выше.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производится в течение 1 минуты. Значения испытательного напряжения приведено в таблице 2.

Измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора должно производиться, если позволяет конструкция электродвигателя. При этом у электродвигателей мощностью 100кВт и более, у всех электродвигателей ответственных механизмов, а также у электродвигателей с выносными подшипниками и подшипниками скольжения величины воздушных зазоров в местах, расположенных по окружности ротора и сдвинутых друг относительно друга на угол 90^0 , или в местах, специально предусмотренных при изготовлении электродвигателя, не должны отличаться больше чем на 10% от среднего значения.

Измерение зазоров в подшипниках скольжения. Увеличение зазоров в подшипниках скольжения более значений, приведённых в таблице 3, указывает на необходимость перезаливки вкладыша.

Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом производится у электродвигателей напряжением 3кВ и выше. Значение тока ХХ для вновь вводимых электродвигателей не нормируется.

Значение тока ХХ после капитального ремонта электродвигателя не должно отличаться больше чем на 10% от значения тока, измеренного перед его ремонтом, при одинаковом напряжении на выводах статора.

У синхронных электродвигателей необходимо учитывать ток возбуждения в момент проведения опыта холостого хода – ток возбуждения должен быть таким же, как и при предыдущих испытаниях.

При проведении испытания необходимо периодически прослушивать работу электродвигателя на предмет появления посторонних шумов, увеличения вибрации и т.п.

Продолжительность проверки электродвигателей должна быть не менее 1 часа.

Если проверка производится у электродвигателей малой мощности, то обычно ток ХХ не превышает 30% номинала. Чаще всего для маломощных электродвигателей низкого напряжения проверка работы на холостом ходу не проводится.

Измерение вибрации подшипников электродвигателя производится у электродвигателей напряжением 3кВ и выше, а также у электродвигателей ответственных механизмов.

При отсутствии заводских данных вибрация не должна превышать следующих значений: 30 при частоте вращения 3000, 60 при 1500, 80 при 1000 и 95 при 750 оборотах/минуту.

Проверка работы электродвигателя под нагрузкой производится при неизменной мощности, потребляемой электродвигателем из сети, величиной не менее чем при 50% номинальной мощности электродвигателя. Проверяется тепловое и вибрационное состояние электродвигателя, прослушивается работа (отсутствие посторонних шумов).

Проверка исправности стержней короткозамкнутых роторов производится у асинхронных электродвигателей при капитальных ремонтах осмотром вынутаго ротора или специальными испытаниями, а в эксплуатации – по пульсациям рабочего или пускового тока статора.

Таблица 2. Значения испытательного напряжения промышленной частоты для обмоток электродвигателей переменного тока.

Испытуемый элемент	Вид испытания	Мощность электродвигателя, (кВт)	Номинальное напряжение электродвигателя (кВ)	Испытательное напряжение (кВ)
Обмотка статора***	П	Менее 1,0	Ниже 0,1	$0,8(2U_{ном}+0,5)$
		От 1,0 до 1000	Ниже 0,1	$0,8(2U_{ном}+1)$
		От 1000	Выше 0,1	$0,8(2U_{ном}+1)(>1,2)$
	К	От 1000	До 3,3	$0,8(2U_{ном}+1)$
		От 1000	Свыше 3,3 до 6,6	$0,8*2,5 U_{ном}$
		От 1000	Свыше 6,6	$0,8(2U_{ном}+3)$
		40 и более, а также ответственные механизмы*	0,4 и ниже	1,0
			0,5	1,5
0,66	1,7			
		2,0	4,0	
		3,0	5,0	
		6,0	10,0	
		10,0	16,0	
		Менее 40	0,66 и ниже	1,0
Обмотка ротора синхронных электродвигателей, предназначенных для непосредственного пуска, с обмоткой возбуждения, замкнутой на резистор или источник питания***	П	-	-	8 – ми кратное $U_{ном}$ системы возбуждения, но не менее 1,2 и не более 2,8
	К	-	-	1,0
Обмотка ротора электродвигателя с фазным ротором ***	П,К	-	-	$1,5U_p^{**}$, но не менее 1,0
Реостаты и пускорегулировочные резисторы	П,К	-	-	$1,5U_p^{**}$, но не менее 1,0
Резистор цепи гашения поля синхронных двигателей	П,К	-	-	2,0

* - испытание необходимо производить при капитальном ремонте (без смены обмоток) тотчас после останова электродвигателя до его очистки от загрязнения.

** U_p напряжение на кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и полном напряжении на статоре.

*** с разрешения технического руководителя предприятия испытание двигателей напряжением до 1000В при вводе в эксплуатацию может не производиться.

Испытание возбуждителей производится у синхронных электродвигателей.

Испытание устройств системы возбуждения синхронных электродвигателей производится в объеме устройств, которые входят в состав системы возбуждения и включают в себя измерение сопротивления изоляции, испытание повышенным напряжением, измерение сопротивления постоянному току, проверка диодов и тиристоров.

Проверку диодов и тиристоров необходимо выполнять после отсоединения их от схемы БВУ по крайней мере с одной стороны полупроводникового элемента.

Проверка станции возбуждения производится в объеме, определяемом соответствующими инструкциями производителя.

Условия испытаний и измерений

Испытание электрических двигателей производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^{\circ}\text{C}$, с контролем температуры статора машины. При проведении испытаний следует помнить, что температура обмоток электродвигателя может быть выше температуры окружающей среды, поэтому контроль температуры обмоток осуществляют непосредственно внутри корпуса электрической машины. Для этого можно использовать датчики температуры КИП, которые выводят температуру обмотки на МДП (местный диспетчерский пункт) оператора.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний обмоток ротора и статора, т.к. конденсат на обмотках может привести к пробое изоляции и, соответственно, к выходу из строя. Оценку увлажнения обмоток электродвигателя проводят при измерении коэффициента абсорбции.

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

При подготовке рабочего места необходимо проверить возможность рассоединения обмоток электродвигателя для проведения полноценных испытаний изоляции обмоток относительно корпуса и между собой.

Средства измерений.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на соответствующее напряжение: для обмотки статора используют мегаомметры на 500В при номинальном напряжении машины до 0,5кВ включительно, мегаомметры с рабочим напряжением 1000В используют для электродвигателей с рабочим напряжением свыше 0,5 до 1кВ включительно, а мегаомметры на напряжение 2500В – для электродвигателей выше 1кВ. Для упрощения следует использовать мегаомметры на напряжение 1000В для всех электродвигателей с номинальным напряжением обмоток 380/220В и 660/380В, иными словами используем мегаомметр на 1000В для всех промышленных низковольтных электродвигателей.

Измерение сопротивления изоляции ротора производится мегаомметром на напряжение 1000В (допускается использовать мегаомметр на напряжение 500В).

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом для электродвигателей мощностью свыше 100кВт. При отсутствии данных приборов возможно использовать метод амперметра – вольтметра с источником постоянного тока, который может обеспечить достаточный ток для проведения данных испытаний. При проведении опыта методом амперметра-вольтметра необходимо иметь источник ток достаточной мощности (ёмкости), для обеспечения стабильности производимых замеров.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Измерение воздушного зазора и зазоров в подшипниках производят с применением специально предназначенных для этой цели шупов.

Измерения при проверке электродвигателей на холостом ходу и под нагрузкой производят с применением амперметров и вольтметров, которые при необходимости можно подключить через

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru
трансформаторы тока и напряжения соответственно. Кроме того можно использовать высоковольтные токоизмерительные клещи для непосредственного измерения тока статора у высоковольтных электродвигателей СТД.

Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).

Порядок проведения испытаний и измерений.

Определение полярности выводов обмотки.

Для первоначальной проверки исправности электродвигателя проводят определение полярности соединённых частей обмотки и правильности маркировки их выводов. Данное испытание выполняется с использованием обычной батарейки и гальванометра.

В большинстве случаев, обмотки электродвигателей соединяются в борно в соответствии с рисунком 5.

В некоторых машинах соединение в звезду не выводится в борно – оно выполнено внутри корпуса, а в борно выведены только три вывода С1-С2-С3, или четыре С1-С2-С3-0. Для таких электродвигателей полярность обмоток не проверяется.

Электродвигатели СТД имеют два борно – в основном выведены начала обмоток С1-С2-С3, а в другом – концы С4-С5-С6. Соединение в звезду в этих электродвигателях производится во втором борно (с концами обмоток). Для электродвигателей СТД полярность обмоток проверяется только в случае смены обмоток (после капитального ремонта).

Определение полярности обмоток производят по схеме на рисунке 6.

При определении полярности соединения обмоток выключатель, который подключает источник питания к обмотке электродвигателя, следует замыкать резко и при этом смотреть за стрелкой гальванометра. Отклонение стрелки вправо означает, что гальванометр и батарейка подключены аналогично друг другу. Иными словами если к началу обмотки С1 подключен «+» батареи, то аналогичный полюс гальванометра подключен к началу другой части обмотки (например С3). Если перед началом проведения данных испытаний звезда разобрана, то на результатах это не скажется, т.к. магнитный поток передаётся через статор электродвигателя.

Следует помнить, что на разомкнутой обмотке электродвигателя наводится ЭДС самоиндукции, величина которой может быть довольно значительной.

Кроме того, следует внимательно следить за стрелкой гальванометра, т.к. при размыкании выключателя она будет отклоняться в противоположную сторону от первоначальных показаний.

У электродвигателей СТД рекомендуется сразу произвести рассоединение звезды в борно – это необходимо и для проведения дальнейших испытаний и измерений. Вообще в любом случае, если есть возможность необходимо производить рассоединение схемы, и производить все испытания с уже независимыми фазными обмотками.

Измерение сопротивления изоляции.

Схема измерения сопротивления изоляции электродвигателя показана на рисунке 7.

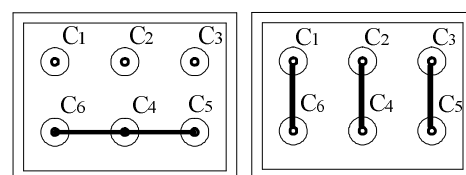


Рисунок 5. Схемы соединений обмоток статора электродвигателей переменного тока.

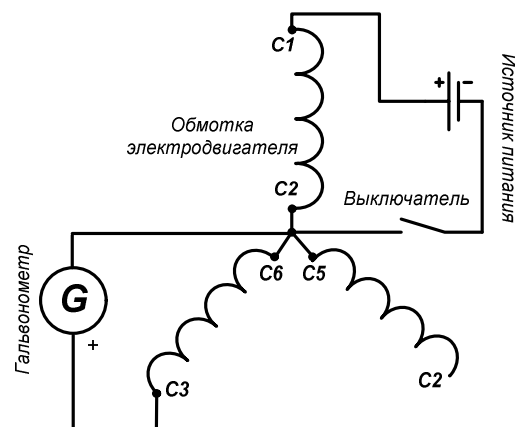


Рисунок 6. Измерение сопротивления изоляции обмотки.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Перед проведением измерения необходимо открыть вводное устройство электродвигателя (борно), протереть изоляторы от пыли и загрязнения и подключить мегаомметр согласно схемы, приведённой на рисунке.

На рисунке 7 А показана схема подключения мегаомметра к испытуемому электродвигателю, у которого обмотки соединены в звезду или треугольник внутри корпуса и произвести рассоединение в борно невозможно. В этом случае мегаомметр подключается к любому зажиму статора электродвигателя и сопротивление изоляции измеряется у всей обмотки сразу относительно корпуса.

На рисунке 7 Б измерение сопротивление изоляции производится у электродвигателя по каждой из частей обмотки отдельно, при этом другие части обмотки (которые в данный момент не обрабатываются) закорачиваются и соединяются на землю.

При измерении сопротивления изоляции отсчёт показаний мегаомметра производят каждые 15 секунд и результатом считается сопротивление, отсчитанное через 60 секунд после начала измерения, а отношение показаний R_{60}/R_{15} считается коэффициентом абсорбции.

Для электродвигателей с номинальным напряжением 0,4кВ (электродвигатели до 1000В) одноминутное измерение изоляции мегаомметром на 2500В приравняется к высоковольтному испытанию.

У синхронных электродвигателей при измерении сопротивления изоляции обмоток статора (обмотки статора) необходимо закоротить и заземлить обмотку ротора. Это необходимо сделать для исключения возможности повреждения изоляции ротора.

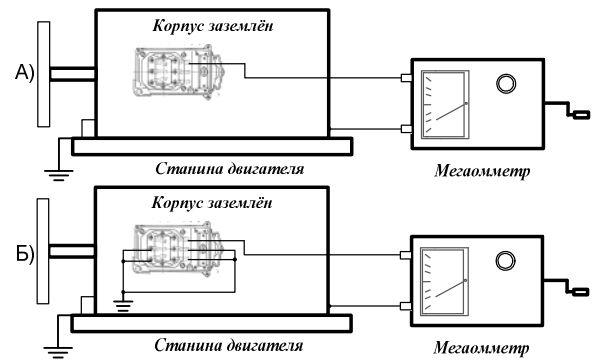


Рисунок 7. Измерение сопротивления изоляции обмотки электродвигателя.

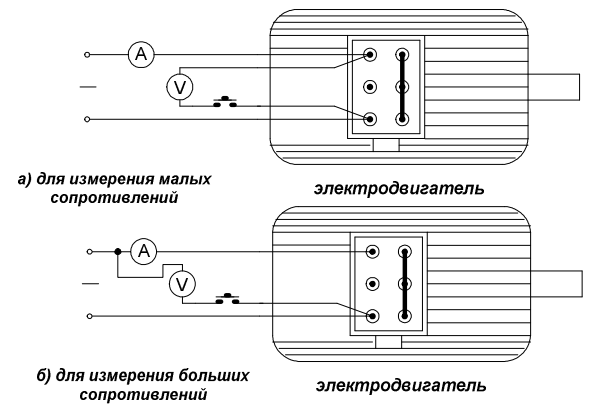


Рисунок 8. Схема измерения сопротивления постоянному току.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение проводится либо с помощью моста постоянного тока, либо с помощью амперметра и вольтметра, ориентируясь в дальнейшем на падение напряжения на обмотке.

Величина тока, при измерении методом падения напряжения, не должна превышать 1/5 номинального тока обмотки электродвигателя. При измерениях этим методом выбирают схему в соответствии с величиной измеряемого сопротивления (рисунок 8).

Схему на рисунке 8а выбирают для измерения малых сопротивлений (мощные электродвигатели), при этом, как видно из рисунка, вольтметр подключается после амперметра (т.е. без учёта сопротивления амперметра). Схему рисунка 8б используют для измерения больших сопротивлений (маломощные электродвигатели).

При измерении сопротивления мостом постоянного тока (например Р333) зажимы моста подключают к зажимам электродвигателя и в дальнейшем производят измерения в соответствии с инструкцией на мост. При этом, если измерение производится без разборки схемы звезды (треугольника), следует учитывать, что измеряется не одна часть обмотки, а например две последовательно (при соединении двигателя в звезду) или одна часть обмотки с параллельно подключенными к ней другими двумя частями (при соединении в треугольник).

Повторяюсь: необходимо производить разборку схемы, так как в паспортах электродвигателей (особенно мощных, таких как СТД) сопротивление постоянному току чаще всего указано для отдельной фазы обмотки (например: С1-С4, С2-С5 и С3-С6).

Для измерения сопротивления постоянному току обмотки ротора необходимо освободить обмотку от посторонних элементов (резисторы у асинхронного электродвигателя с фазным ротором, или диоды и тиристоры системы возбуждения синхронного электродвигателя). Измерение сопротивления производится аналогично измерению сопротивления обмоток статора (рисунок 8). У асинхронников с фазным ротором измерение производится пофазно для проведения дальнейшего сравнения на пригодность к эксплуатации, у синхронников производится одно измерения для дальнейшего сравнения с заводскими данными, или данными предыдущих испытаний.

У маломощных электродвигателей, которые применяются в неответственных механизмах, станках и т.п. можно производить измерение сопротивления обмоток статора с помощью простейших мультиметров (цифровых, стрелочных). При измерении необходимо обеспечить надёжный контакт с зажимом (зажимами) измеряемой обмотки. Сравнение на разность сопротивления производится на основании показаний мультиметра. В большинстве случаев точности простейших мультиметров вполне достаточно для оценки пригодности электродвигателя к эксплуатации.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Перед проведением испытания повышенным напряжением промышленной частоты необходимо собрать испытательную схему, представленную на рисунке 9 (один из вариантов). При проведении испытаний по схеме рисунка 9(б), необходимо строго следить за тем, чтобы свободные обмотки (на которые не подаётся повышенное напряжение) были закорочены и соединены с землёй. Схема на рисунке 9(б) предпочтительна для всех электродвигателей.

Испытания необходимо производить с соблюдением мер безопасности (смотри раздел методики «Меры безопасности»).

При проведении испытания по схеме рисунка 9(б) напряжение промышленной частоты прикладывается поочерёдно к каждой части обмотки. Данное мероприятие (рассоединение звезды) необходимо в первую очередь для мощных электродвигателей, т.к. при проведении испытаний полной обмотки ёмкость изоляции обуславливает появление большого тока утечки. Кроме того, рассоединение обмотки с последующим поочерёдным испытанием позволяет провести испытание межобмоточной изоляции в том месте, где части обмотки взаимно пересекаются не приближаясь, при этом, к корпусу.

В расщелку соединения высоковольтной обмотки испытательного трансформатора с землёй включается миллиамперметр (желательно с блокирующей кнопкой для его защиты) для измерения токов утечки, значение которых не нормируется, но является дополнительным критерием оценки результатов испытаний.

Миллиамперметр включается одним выводом на землю (корпус), а другим – к выводу высоковольтного трансформатора, который должен быть соединён с землёй.

У синхронных электродвигателей и асинхронных машин с фазным ротором при проведении испытаний обмоток статора повышенным напряжением необходимо закорачивать и заземлять обмотку ротора для предотвращения возможного пробоя.

Контроль токов утечек при проведении высоковольтных испытаний электродвигателей не обязателен.

Проверка работы электродвигателя на холостом ходу.

Проверка производится после проведения всех предыдущих испытаний и измерений.

Испытание заключается в измерении тока холостого тока электродвигателя и контроля его работы в течение 40-30 минут при номинальном напряжении сети.

При проведении испытания синхронного электродвигателя следует обратить внимание на ток возбуждения – с помощью регулятора станции управления необходимо добиться минимального тока статора (близкого к единице косинуса).

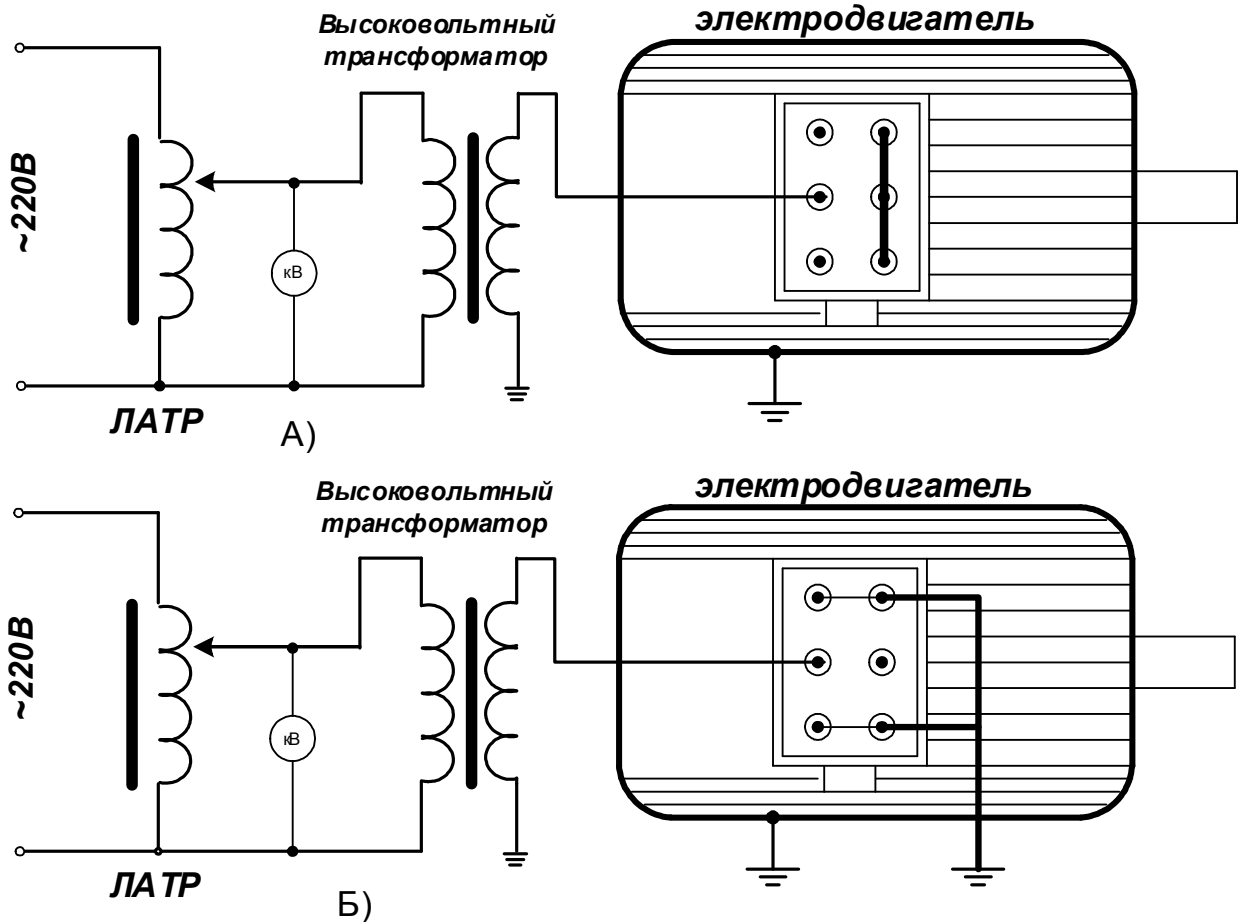


Рисунок 9. Схема высоковольтных испытаний электродвигателей.

Испытание возбудителей.

Испытание производится у синхронных электродвигателей.

На электродвигателях, оборудованных безщёточной система возбуждения типа БВУ, проводится проверка полупроводниковых элементов (диодов, тиристоров), измеряется сопротивление обмотки возбуждения и обмоток генератора.

Для проведения проверки полупроводниковых элементов необходимо разобрать схему - отсоединить хотя бы один из электродов каждого полупроводникового элемента. Точки отсоединения показаны на рисунке 10.

После рассоединения схемы диоды и тиристоры БВУ проверяются с помощью мегаомметра. Диоды проверяются с подключением плюсового вывода мегаомметра сначала к аноду, а затем к катоду, при этом замеряется сопротивление по обычной схеме. При прямом подключении мегаомметра (плюсовой вывод – к аноду) сопротивление элемента будет нулевым, при обратном подключении оно должно быть не менее 10Мом (при условии, что диод исправен). Для проверки тиристоров производят аналогичные измерения, но при этом сопротивление должно быть не менее 10Мом в обе стороны – и при прямом и при обратном подключении мегаомметра.

Кроме измерения сопротивления тиристора с помощью мегаомметра необходимо определить его работоспособность с помощью мультиметра или обычного тестера (можно использовать прозвонку). Для этого подключают мультиметр к аноду и катоду тиристора, при этом мультиметр должен показать большое сопротивление, затем управляющий электрод присоединяют к катоду (на управляющий электрод подают напряжение смещения), при этом тиристор должен открыться и мультиметр покажет нулевое значение сопротивления.

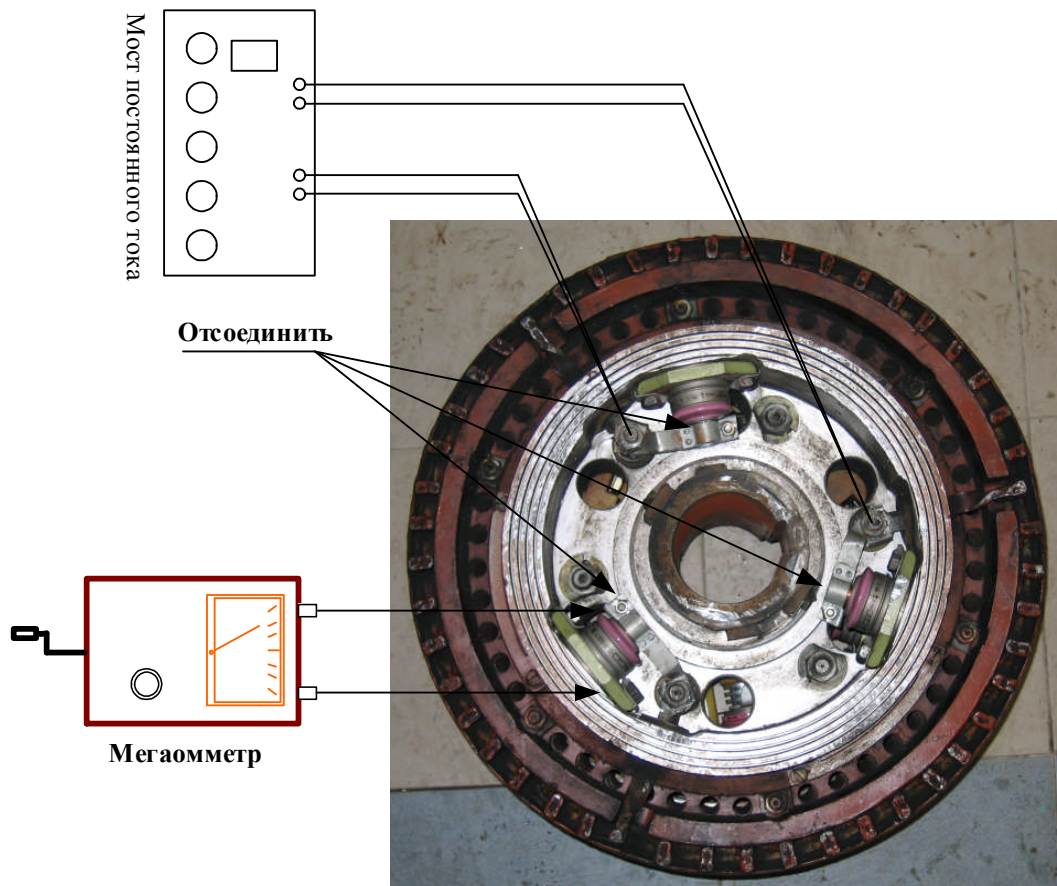


Рисунок 10. Проверка полупроводниковых элементов БВУ с помощью мегаомметра и измерение сопротивления обмоток БВУ постоянному току.

Проверка полупроводниковых элементов производится как с внешней стороны БВУ, так и с внутренней.

Измерение обмотки БВУ постоянному току производят также после рассоединения схему с помощью моста постоянного тока. Примет показан на рисунке 10.

Обработка данных, полученных при испытаниях.

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- ✚ дату измерений и испытаний
- ✚ температуру, влажность и давление
- ✚ температуру обмоток электродвигателя
- ✚ наименование, тип, заводской номер электродвигателя
- ✚ номинальные данные объекта испытаний
- ✚ результаты испытаний

✚ результаты внешнего осмотра

✚ используемую схему

Данные, полученные при измерении сопротивления изоляции обмоток и сопротивлении обмоток постоянному току, следует сравнивать с заводскими данными на данный электродвигатель, с учётом температуры (если такие данные существуют). Кроме того, данные по сопротивлению фаз не должны отличаться друг от друга не более чем на 2%. Если нет заводских данных, то сравнение ведёт с данными предыдущих испытаний.

Высоковольтные испытания проводятся для проверки прочности изоляции, сравнение по результатам высоковольтных испытаний не ведётся.

Для сравнения необходимо привести данные измерений к температуре заводских испытаний (или к температуре предыдущих измерений). Для приведения используются следующие выражения:

$$X = X_1(t_2+235)/(t_1+235)$$

где: X - значение параметра;

X₁ – значение измеренного параметра при температуре t₂;

t₁ – температура заводских (предыдущих) испытаний °С;

t₂ – температура при испытании (°С) при которой было получено значение X₁.

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации.

Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.

Перед началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ
- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего, (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками) по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

При окончании работ:

- При окончании работ на электрооборудовании убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в кабельный журнал о проведённых испытаниях (при испытании кабеля), либо сделать запись в черновик для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполненным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника при испытаниях.

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу IУ, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, – группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждением, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена отдельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу III, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытываемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу 111, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находиться вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инст-руктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в стоке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм². Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм².

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытываемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлестывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние, менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытываемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- Проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- Проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- Предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напря-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

жением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

Начальник электролаборатории Ухтинского РНУ

С.П. Захаров