

Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на испытания генераторов переменного тока всех типов и напряжений.

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

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 генераторов 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 (сланец, стекло, асбест) не подвержены тепловому старению при обычных для генераторов 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.

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.

Синхронные машины являются обратимыми – это значит, что синхронный генератор можно использовать и в качестве генератора и в качестве электродвигателя. Это обусловлено одинаковой конструкцией машин и, кроме того, практически одинаковыми конструкциями возбуждательных устройств. Активно используются синхронные машины и в качестве синхронных компенсаторов – синхронных машин для генерирования реактивной мощности, основная цель синхронного компенсатора – поддержание коэффициента мощности сети.

Диапазон мощностей синхронных генераторов достаточно велик.

Мощные синхронные генераторы – гидротурбины и турбогенераторы – характеризуются значительной мощностью (от 30 до 1200 МВА) и высоким напряжением на статоре (до 30кВ). Эти генераторы применяются на крупных электростанциях.

Наряду с этим широко используются агрегаты для автономного снабжения – небольших населённых пунктов и предприятий, удалённых от промышленных центров, временных промышленных установок и т.п. Эти агрегаты могут быть стационарными и передвижными (рисунок 1). Основным



Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

видом приводного двигателя в таких агрегатах являются дизельные двигатели, а при небольшой мощности агрегата возможно применение бензиновых двигателей. На агрегатах стационарной установки и сравнительно большей мощности применяются газотурбинные двигатели. Диапазон мощности синхронных генераторов для автономного электроснабжения от 5 до 800кВт при напряжении на выходе обычно 230 и 400В, при мощности от 800кВт напряжение на выходе может быть 6-10кВ. Не редко применение автономной электростанции с повышающим трансформатором (для работы на линию электропередач).

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

1. профилактические испытания должны, как правило, совмещаться с текущими и капитальными ремонтами генератора.
2. перед испытаниями генератор 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 генератора.
4. заключение о пригодности генератора к эксплуатации производится на основании сравнения данных, полученных при испытании с заводскими данными, данными предыдущих испытаний и требованиями НТД.

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

Объект испытания.

Статор синхронного генератора конструктивно выполнен аналогично статору синхронного или асинхронного электродвигателя. Особенностью выполнения статора генератора может являться дополнительная обмотка, которая используется для питания возбуждающих устройств, хотя большие по мощности генераторы могут использовать отдельный источник энергии для цепей возбуждения (например специальный генератор постоянного тока – возбудитель).

Ротор синхронного генератора аналогичен по конструкции от ротору синхронного электродвигателя, и представляет собой магнит постоянного тока (при поданном напряжении возбуждения). Обмотка ротора, которая питается от источника постоянного тока, называют обмоткой возбуждения. Вращающуюся обмотку ротора соединяют с внешним источником тока (возбудителем) посредством контактных колец и щётки. Кроме ротора с контактными кольцами синхронные генераторы могут снабжаться безщёточными возбуждающими устройствами (БВУ). Внешний вид синхронного генератора с БВУ представлен на рисунке 2. Принцип работы генератора от конструкции возбуждающего устройства не меняется.



БВУ представляет собой небольшой по мощности генератор, который служит для питания ротора генератора постоянным током – током возбуждения. Таким образом, выработанная генерато-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

ром БВУ электроэнергия используется только для возбуждения синхронного генератора.

Синхронный генератор является обрабатываемой машиной и может работать и как генератор и как электродвигатель. 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 генератора жестко привязана к частоте, что является важнейшим эксплуатационным свойством данного типа машин.

Определяемые характеристики.

Определение возможности включения без сушки генераторов выше 1кВ. При решении вопроса о необходимости сушки компаундированной, терморезистивной и гильзовой изоляции обмотки статора синхронного генератора следует руководствоваться следующим:

- внешним осмотром подтверждена целостность машины после транспортировки, отсутствие повреждённых частей обмотки, целостность системы возбуждения
- сопротивление изоляции обмотки статора генератора по фазам (если есть возможность измерения по фазам) не отличается более чем в три раза по отношению друг к другу, при этом величина сопротивления изоляции самой «слабой» фазы должна быть не ниже указанной ниже в таблице 1.
- коэффициент абсорбции обмотки статора должен быть не ниже 1,3.
- сопротивление изоляции вспомогательной обмотки статора и сопротивление изоляции ротора должно быть не ниже нормируемой ниже (в зависимости от температуры при проведении испытаний).

Для генераторов с бумажно-масляной изоляцией необходимость сушки устанавливается в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

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

| Мощность, номинальное напряжение электродвигателя, вид изоляции | Критерии оценки состояния изоляции обмотки статора | | | | |
|--|---|-----|-----|------|---------------------------------|
| | Значение сопротивления изоляции не менее (МОм) | | | | Значение коэффициента абсорбции |
| Обмотка статора генератора напряжением до 1 кВ (каждая фаза в отдельности относительно корпуса и других заземленных фаз) | 0,5 | | | | - |
| Обмотка статора генератора напряжением свыше 1кВ (все виды изоляции) | 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 | | |
| Обмотка ротора генератора | 0,5 (допускается для неявнополюсных машин – не ниже 2 кОм при температуре +75°С или 20кОм при +20°С) | | | | - |
| Вспомогательная обмотка генератора | 1 | | | | - |

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

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru
ротора генератора.

Одновременно с измерением сопротивления изоляции обмотки статора определяют коэффициент абсорбции. Измерение сопротивления изоляции ротора проводится у генераторов с номинальным напряжением выше 1кВ.

Сопротивление изоляции вспомогательной обмотки определяется при её наличии у генераторов с номинальным напряжением выше 1кВ. (у низковольтных генераторов дополнительная обмотка может испытываться в качестве дополнительного испытания при оценке общей работоспособности генератора)

Значение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции указаны в таблице 1.

Испытание повышенным выпрямленным напряжением.

Испытание изоляции обмотки статора повышенным выпрямленным напряжением с измерением тока утечки по фазам. Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом.

У генераторов с водяным охлаждением обмотки статора испытание производится в случае, если возможность этого предусмотрена в конструкции генератора.

Значения испытательного напряжения приведены в таблице 2.

Для турбогенераторов типа ТГВ-300 испытание следует производить по ветвям.

Испытательное выпрямленное напряжение для генераторов типов ТГВ-200 и ТГВ-300 следует принимать в соответствии с инструкцией по эксплуатации этих генераторов.

Измерение токов утечки для построения кривых зависимости их от напряжения производится не менее чем при пяти значениях выпрямленного напряжения - от $0,2U_{max}$ до U_{max} равными ступенями. На каждой ступени напряжения выдерживается в течение 1 мин. При этом фиксируются токи утечки через 15 и 60 с.

Таблица 2. Испытательное выпрямленное напряжение для обмоток статоров синхронных генераторов и компенсаторов

| Мощность генератора, МВт | Номинальное напряжение, кВ | Амплитудное испытательное напряжение, кВ | |
|--------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|
| | | | |
| Менее 1 | Все напряжения | $2,4U_{ном} + 1,2$ | 0,4кВ – 2,1кВ 0,66кВ – 2,7кВ |
| | | $2,4U_{ном} + 1,2$ | 3кВ – 8,4кВ |
| 1 и более | До 3,3 | $3U_{ном}$ | 6кВ – 18кВ |
| | Выше 3,3 до 6,6 | $2,4U_{ном} + 3,6$ | 10кВ – 27кВ |

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Испытание проводится по нормам, приведенным в таблице 3. Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом.

Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин.

При проведении испытаний изоляции повышенным напряжением промышленной частоты следует руководствоваться следующим:

а) испытание изоляции обмоток статора генератора рекомендуется производить до ввода ротора в статор. Если стыковка и сборка статора гидрогенератора осуществляются на монтажной площадке и впоследствии статор устанавливается в шахту в собранном виде, то изоляция его испытывается дважды: после сборки на монтажной площадке и после установки статора в шахту до ввода ротора в статор. Если испытание производится на генераторе с установленным ротором, то обмотку ротора необходимо закортить и заземлить.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

В процессе испытания осуществляется наблюдение за состоянием лобовых частей машины: у турбогенераторов - при снятых торцовых щитах, у гидрогенераторов - при открытых вентиляционных люках;

б) испытание изоляции обмотки статора для машин с водяным охлаждением следует производить при циркуляции дистиллированной воды в системе охлаждения с удельным сопротивлением не менее 75 кОм/см и номинальном расходе;

в) после испытания обмотки статора повышенным напряжением в течение 1 мин у генераторов 10 кВ и выше испытательное напряжение снизить до номинального напряжения генератора и выдержать в течение 5 мин для наблюдения за коронированием лобовых частей обмоток статора. При этом не должно быть сосредоточенного в отдельных точках свечения желтого или красного цвета, появления дыма, тления бандажей и тому подобных явлений. Голубое и белое свечение допускается;

г) испытание изоляции обмотки ротора турбогенераторов производится при номинальной частоте вращения ротора – только для щётчных машин, на которых можно выполнить данное испытание при вращающемся роторе. На машинах с БВУ испытание производится при остановленном генераторе и заземлённой обмотке статора.

Таблица 3. Испытательное напряжение промышленной частоты для обмоток синхронных генераторов и компенсаторов

| Испытуемый объект | Характеристика электрической машины | Испытательное напряжение, кВ |
|--|--|--|
| Обмотка статора синхронного генератора | Мощность до 1 МВт, номинальное напряжение выше 100 В | $1,6U_{\text{ном}} + 0,8$, но не менее 1,2 |
| | Мощность более 1 МВт, номинальное напряжение до 3,3 кВ | $1,6U_{\text{ном}} + 0,8$ |
| | То же, но номинальное напряжение выше 3,3 кВ до 6,6 кВ | $2U_{\text{ном}}$ |
| Реостат возбуждения | - | 1 |
| Резистор гашения поля | - | 2 |
| Заземляющий резистор | - | $1,5U_{\text{ном}}$ генератора |
| Обмотка статора синхронных генераторов, у которых стыковка частей статора производится на месте монтажа (гидрогенераторы) по окончании полной сборки обмотки и изолировки соединений | Мощность более 1 МВт, номинальное напряжение выше 6,6 кВ | $1,6U_{\text{ном}} + 2,4$ |
| | Мощность до 1 МВт, номинальное напряжение выше 100 В | $2U_{\text{ном}} + 1$, но не менее 1,5 |
| | Мощность более 1 МВт, номинальное напряжение до 3,3 кВ | $2U_{\text{ном}} + 1$ |
| | То же, но номинальное напряжение выше 3,3 кВ до 6,6 кВ | $2,5U_{\text{ном}}$ |
| | То же, но номинальное напряжение выше 6,6 кВ | $2U_{\text{ном}} + 3$ |
| Обмотка явнополюсного ротора | - | $7,5U_{\text{ном}}$ возбуждения генератора, но не менее 1,1 и не |

| Испытуемый объект | Характеристика электрической машины | Испытательное напряжение, кВ |
|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| | | более 2,8 |
| Обмотка неявнополюсного ротора | - | 1 (в том случае, если это не противоречит требованиям технических условий завода-изготовителя) |

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится у генераторов для сравнения различных фаз обмоток между собой, с заводскими данными (указаны в паспорте генератора), или с данными предыдущих испытаний, а обмотки возбуждения синхронных генераторов – 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 генераторах, сопротивление измеряется на всех ответвлениях. Для генераторов с номинальным напряжением ниже 3кВ измеряется общее сопротивление реостатов и пусковых резисторов и проверяется целостность отпаек.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току небольших по мощности генераторов номинальным напряжением 0,4кВ проводится для оценки общего состояния генератора. В генераторах данного типа расхождение по сопротивлению может быть выше 2% в связи с разными длинами выводных отпаек от разных фаз. Максимальное различие в сопротивлении не должно превышать 4%. Это не относится к генераторам с номинальным напряжением 0,4кВ и мощностью от 30кВт и выше.

Измерение сопротивления обмотки ротора переменному току промышленной частоты.

Производится для генераторов мощностью более 1 МВт.

Для щётчных машин: измерение следует производить при напряжении не более 220 В на трех-четырех ступенях частот вращения, включая номинальную, а также в неподвижном состоянии. Для явнополюсных машин при неизолированных местах соединений в неподвижном состоянии измерение производится для каждого полюса в отдельности или попарно. Отклонения измеренных значений от данных завода-изготовителя или от среднего сопротивления полюсов должны находиться в пределах точности измерения.

Для машин с БВУ: измерение следует производить при напряжении не более 220 В при за- торможенном роторе.

Измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора должно производиться, если позволяет конструкция генератора. Если инструкциями на генераторы отдельных типов не предусмотрены более жесткие нормы, то зазоры в диаметрально противоположных точках могут отличаться друг от друга не более чем:

- на 5% среднего значения (равного их полусумме)- для турбогенераторов 150 МВт и выше с непосредственным охлаждением проводников;
- на 10% - для остальных турбогенераторов;
- на 20% - для гидрогенераторов.

Измерение зазора у явнополюсных машин производится под всеми полюсами.

Определение характеристик генератора:

а) трехфазного КЗ. Характеристика снимается при изменении тока от нуля до номинального значения. Отклонения от заводской характеристики должны находиться в пределах точности измерения.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Снижение измеренной характеристики, которое превышает точность измерения, свидетельствует о наличии витковых замыканий в обмотке ротора.

У генераторов, работающих в блоке с трансформатором, снимается характеристика КЗ всего блока (с установкой закоротки за трансформатором). Характеристику собственно генератора, работающего в блоке с трансформатором, допускается не определять, если имеются протоколы соответствующих испытаний на стенде заводов-изготовителей.

б) холостого хода. Подъем напряжения номинальной частоты на холостом ходу производить до 130% номинального напряжения турбогенераторов и синхронных компенсаторов, до 150% номинального напряжения гидрогенераторов. Допускается снимать характеристику холостого хода турбо- и гидрогенератора до номинального тока возбуждения при пониженной частоте вращения генератора при условии, что напряжение на обмотке статора не будет превосходить 1,3 номинального. У синхронных компенсаторов разрешается снимать характеристику на выбеге. У генераторов, работающих в блоке с трансформаторами, снимается характеристика холостого хода блока; при этом генератор возбуждается до 1,15 номинального напряжения (ограничивается трансформатором). Характеристику холостого хода собственно генератора, отсоединенного от трансформатора блока, допускается не снимать, если имеются протоколы соответствующих испытаний на заводе-изготовителе. Отклонение характеристики холостого хода от заводской не нормируется, но должно быть в пределах точности измерения.

Межвитковая изоляция обмотки статора. Испытание междувитковой изоляции. Испытание следует производить подъемом напряжения номинальной частоты генератора на холостом ходу до значения, соответствующего 150% номинального напряжения статора гидрогенераторов, 130% - турбогенераторов и синхронных компенсаторов. Для генераторов, работающих в блоке с трансформатором, - смотри пункт выше – определение характеристик генератора. При этом следует проверить симметрию напряжений по фазам. Продолжительность испытания при наибольшем напряжении - 5 мин. Испытание междувитковой изоляции рекомендуется производить одновременно со снятием характеристики холостого хода.

Измерение вибрации. Вибрация (удвоенная амплитуда колебаний) подшипников синхронных генераторов, измеренная в трех направлениях (у гидрогенераторов вертикального исполнения производится измерение вибрации крестовины со встроенными в нее направляющими подшипниками), и их возбудителей не должна превышать значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4. Наибольшая допустимая вибрация подшипников (крестовины) синхронных генераторов, компенсаторов и их возбудителей

| Номинальная частота вращения ротора, мин ⁻¹ | 3000* | 1500-500** | 375-214 | 187 | До 100 |
|--|-------|------------|---------|-----|--------|
| Вибрация, мкм | 40 | 70 | 100 | 150 | 180 |

* Для генераторов блоков мощностью 150 МВт и более вибрация не должна превышать 30 мкм.

**Для синхронных компенсаторов с частотой вращения ротора 750-1000 мин⁻¹ вибрация не должна превышать 80 мкм.

Проверка изоляции подшипников. Проверка изоляции подшипника при работе генератора. Производится путем измерения напряжения между концами вала, а также между фундаментной плитой и корпусом изолированного подшипника. При этом напряжение между фундаментной плитой и подшипником должно быть не более напряжения между концами вала. Различие между напряжениями более чем на 10% указывает на неисправность изоляции.

Испытание под нагрузкой. Испытание генератора под нагрузкой производится в соответствии с возможностями ввода машины в работу под нагрузку в период приёмо-сдаточных испытаний. На-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru
грев статора при данной нагрузке должен соответствовать паспортным данным.

Измерение остаточного напряжения генератора при отключении АГП в цепи ротора. Значение остаточного напряжения не нормируется.

Испытание возбuditелей.

Испытание устройств системы возбуждения генератора производится в объёме 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 объёме, определяемом соответствующими инструкциями производителя.

Условия испытаний и измерений

Испытание электрических характеристик генераторов производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^{\circ}\text{C}$, с контролем температуры статора машины. При проведении испытаний следует помнить, что температура обмоток генератора 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 машины и испытательного оборудования. Оценку увлажнения обмоток генератора 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 генератора 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 генераторов с номинальным напряжением обмоток 380/220В и 660/380В, при номинальном напряжении генераторов ниже 220В, следует использовать мегаомметр с напряжением 500В.

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 генераторов 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

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

необходимо иметь источник ток достаточной мощности (ёмкости), для обеспечения стабильности производимых замеров (для обмотки ротора генератора мощностью 1500 – 2500 кВт удобно использовать автомобильный аккумулятор на напряжение 12В).

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 щупов.

Измерения при проверке генераторов на холостом ходу и под нагрузкой производят с применением амперметров и вольтметров, которые при необходимости можно подключить через трансформаторы тока и напряжения соответственно (использование трансформаторов тока и напряжения для высоковольтных генераторов). Кроме того, можно использовать высоковольтные токоизмерительные клещи для непосредственного измерения тока статора у высоковольтных генераторов.

Для измерения сопротивления ротора переменному току используют разделительные трансформаторы с напряжением вторичной обмотки 36В для генераторов с номинальным напряжением статора до 660В и с номинальным напряжением 220 – 250В для высоковольтных генераторов. Разделительные трансформаторы и ЛАТРы можно не регистрировать в ЦСМ.

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

Порядок проведения испытаний и измерений.

Определение возможности включения без сушки генераторов выше 1кВ.

Как уже было сказано выше, определение возможности включения генератора в работу без сушки производится следующим образом:

- производится внешний осмотр генератора – выявляются повреждения, которые могут сказаться на работе агрегата;
- измеряется сопротивление изоляции с определением коэффициента абсорбции
- измеряется сопротивление изоляции вспомогательных обмоток

Каждый отдельный параметр и все они вместе сказываются на возможности включения генератора в работу без сушки.

Внешним осмотром генератора проверяют отсутствие механических повреждений корпуса, целостность изоляции выводов в борно и качество подключения кабелей, наличие масла в подшипниках, целостность выводов обмоток дополнительной обмотки возбуждения и трансформаторов тока.

Измерение сопротивления изоляции.

Схема измерения сопротивления изоляции генератора показана на рисунке 3.

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

На рисунке 3 А показана схема подключения мегаомметра к испытываемому генератору, 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 генератора и сопротивление изоляции измеряется у всей обмотки сразу относительно корпуса.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

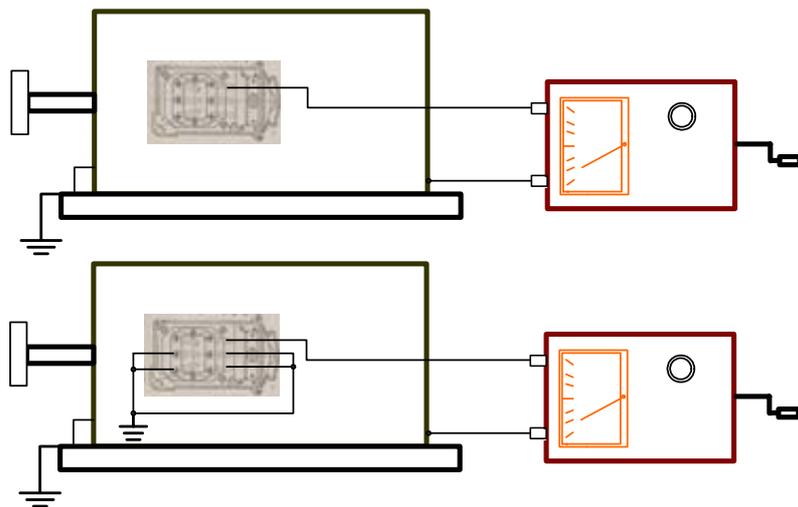
На рисунке 3 Б измерение сопротивления изоляции производится у генератора по каждой из частей обмотки отдельно, при этом другие части обмотки (которые в данный момент не обрабатываются) закорачиваются и соединяются на землю.

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

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

Измерение сопротивления изоляции дополнительной обмотки статора (обмотки возбуждения) производится аналогично – обычно эта обмотка уже соединена в звезду, и рассоединение произвести невозможно, поэтому на этой обмотке производят одно измерение относительно корпуса.



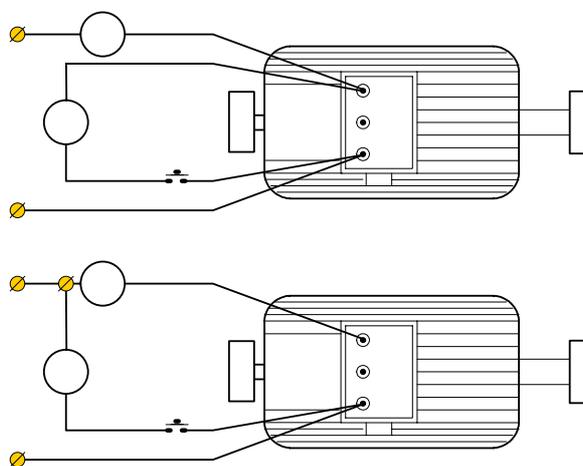
Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

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 генератора. При измерениях этим методом выбирают схему в соответствии с величиной измеряемого сопротивления (рисунок 4).

Схему на рисунке 4а выбирают для измерения малых сопротивлений (мощные генераторы), при этом, как видно из рисунка, вольтметр подключается после амперметра непосредственно на обмотку генератора (т.е. без учёта сопротивления амперметра). Схему рисунка 4б используют для измерения больших сопротивлений (маломощные генераторы). Кнопка в цепи вольтметра предусмотрена для защиты прибора от повреждения при возникновении напряжения самоиндукции обмотки.

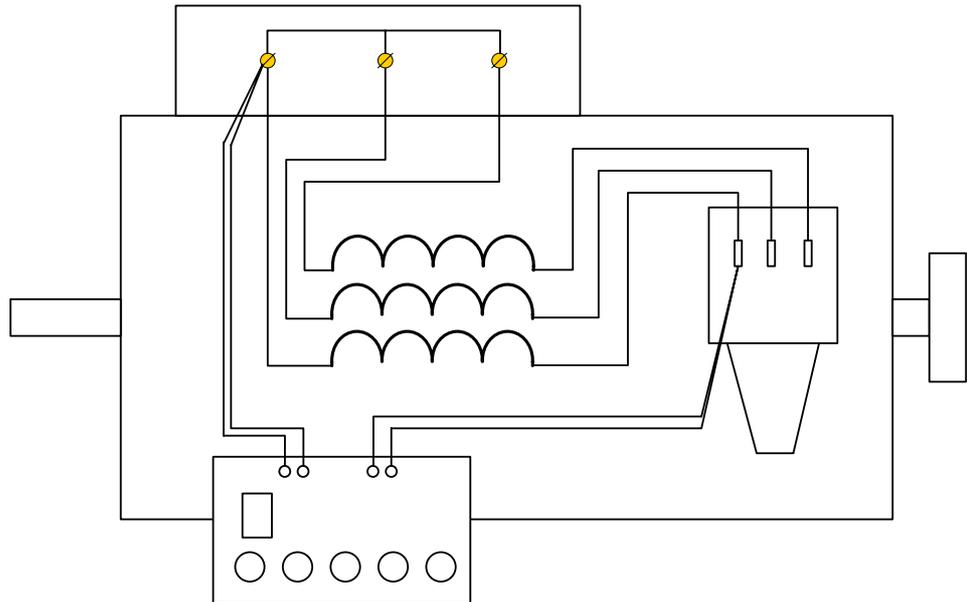
При измерении сопротивления мостом постоянного тока (например Р333 или Р4833) зажимы моста подключают к зажимам электродвигателя и в дальнейшем производят измерения в соответствии с инструкцией на мост. При этом, если измерение производится без разборки схемы звезды



Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

(треугольника), следует учитывать, что измеряется не одна часть обмотки, а например две последовательно (при соединении машины 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 генераторов (особенно мощных) сопротивление постоянному току чаще всего указано для отдельной фазы обмотки (например: 1U1-1U2, 1V1 – 1V2, 1W1-1W2). При соединении обмоток в звезду прибор подключается по схеме на рисунке 6 – рассоединение обмоток не требуется.

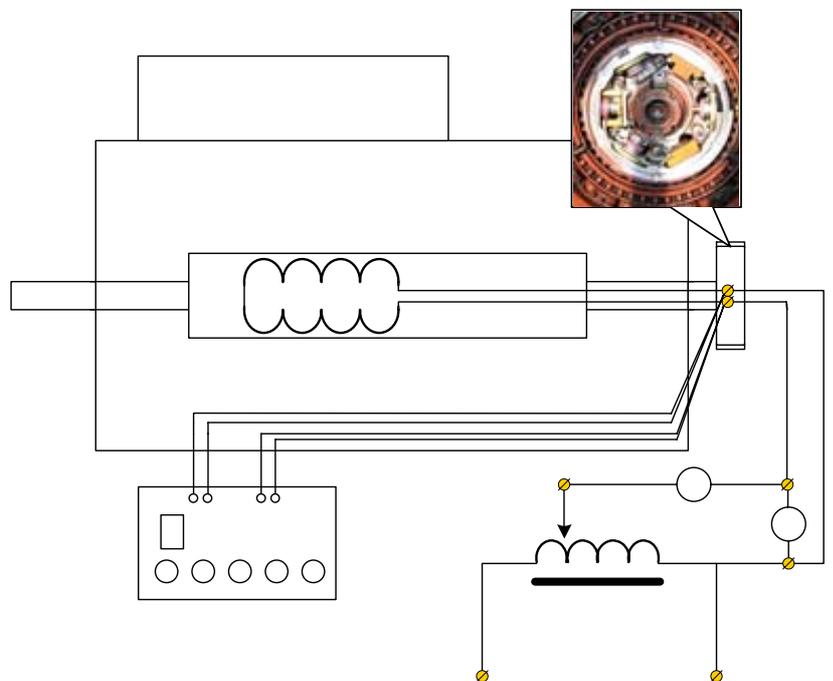


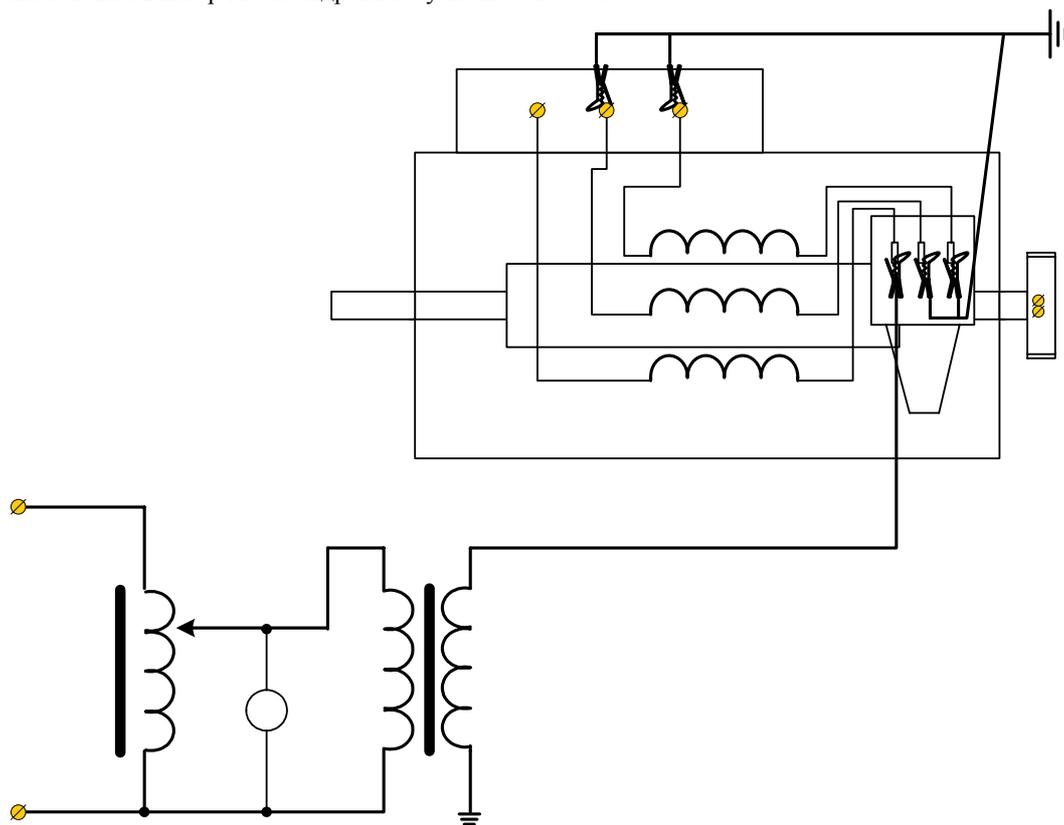
Для измерения сопротивления постоянному току обмотки ротора необходимо освободить обмотку от посторонних элементов (поднять щётки при щеточном типе возбуждения, диоды и тиристоры системы возбуждения БВУ). Измерение сопротивления производится аналогично измерению сопротивления обмоток статора (рисунок 7, прибор подключается по четырёхпроводной схеме). Измеренные значения сравниваются с заводскими данными, или данными предыдущих испытаний.

Измерение сопротивления обмотки ротора переменному току промышленной частоты.

Измерение производится для выявления повреждения в обмотке (в обмотках для явнополюсных машин), выявления межвитковых замыканий и повреждений в железе.

Измерение производится по схеме, представленной на рисунке 7. Для щёточных машин измерение производится при вращающемся роторе, у машин с БВУ ротор должен быть заторможен и отделён от схемы возбуждения (отключен от схемы).





Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом, если это позволяет конструкция электродвигателя (рисунок 8). Если невозможно произвести рассоединение обмоток, то испытание проводится сразу всей обмотки относительно корпуса.

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

Рассоединение звезды обмотки генератора необходимо в первую очередь для мощных машин, 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 рассечку 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.

Ротор машины должен быть закорочен и заземлён на всё время проведения испытаний.

Испытание повышенным выпрямленным напряжением.

Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом, если это позволяет конструкция электродвигателя (рисунок 8). Отличие

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

схемы заключается исключительно в установке выпрямительного диода в высоковольтный вывод испытательного трансформатора. Измерительный прибор следует включать так же в рассечку заземлённого вывода испытательного трансформатора.

По измеренным на выпрямленном напряжении токам утечки можно выявить дефекты изоляции на ранней стадии их развития. Характер нелинейной зависимости тока утечки от напряжения позволяет судить о степени увлажнённости изоляции.

Ток утечки следует измерять микроамперметром с классом точности 1,5 и с верхним пределом измерения не ниже 2500 мкА. Отклонение стрелки прибора при измерениях должно быть не менее 0,1 шкалы, для чего следует пользоваться переключателем пределов или прибором с логарифмической шкалой.

Для построения кривой зависимости $i_{ут} = f(U_{исп.})$ измерить токи утечки не менее, чем при пяти значениях выпрямленного напряжения от $U_{мин}$ ($0,2U_{макс}$) до $U_{макс}$, регулируемого равными ступенями. Подъем испытательного напряжения на всех ступенях производить плавно, приблизительно с одинаковой скоростью. Отсчет показаний микроамперметра производить через 15 и 60 сек после достижения значения испытательного напряжения на каждой ступени.

Во избежание местных перегревов изоляции токами утечки выдержка напряжения на очередной ступени допускается лишь в том случае, если значение тока утечки на данной ступени напряжения не превышает следующих значений, данных в таблице 5.

Таблица 5.

| Кратность испытательного напряжения по отношению к $U_{ном}$ | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
|--|-----|-----|------|------|------|------|
| Ток утечки, мкА | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 3500 |

Если ток утечки достиг указанных значений, то диагностическое испытание следует прекратить и попытаться выяснить и устранить причину повышенных токов утечки.

По измеренному значению токов утечки определяется коэффициент нелинейности:

$$K_{И} = (I_{макс} \times U_{мин}) / (I_{мин} \times U_{макс}),$$

где $I_{макс}$, $I_{мин}$ – ток утечки при напряжениях $U_{макс}$, $U_{мин}$;

Испытание изоляции полным испытательным напряжением $U_{макс}$ в течение 60с при определении тока утечки последней ступени считается одновременно и испытанием электрической прочности изоляции выпрямленным напряжением.

Оценка результатов диагностирования производится по характеристике $i_{ут} = f(U_{исп.})$, которая не должна иметь крутого изгиба, а также по коэффициенту нелинейности, который должен быть не больше 1,2.

Если кривая тока утечки не имеет кривого изгиба, но $i_{ут}$ превысил допустимое значение, а коэффициент нелинейности $K_{И}$ не превышает допустимый, генератор следует подвергнуть контрольному прогреву до $+75^{\circ}C$. После чего произвести повторное испытание и снятие характеристики $i_{ут} = f(U_{исп.})$.

При подъеме напряжения микроамперметр должен быть замкнут накоротко переключателем пределов. Перевод этого переключателя в нужное положение допускается лишь на время, необходимое для измерений.

Определение воздушных зазоров между сталью ротора и статора.

Измерение производится при условии, если конструкция машины позволяет произвести данные измерения.

Измерение производится с применением специальных щупов по всей окружности ротора.

Определение характеристик генератора.

Проверка производится после проведения всех предыдущих испытаний и измерений.

Испытание заключается в проведении опыта короткого замыкания и опыта холостого хода генератора.

Опыт короткого замыкания проводят в следующем порядке:

1. На выводах генератора устанавливается закоротка на все три фазы. Закоротку необходимо выбирать с соответствующим (по току) сечением и устанавливать как можно ближе к выводам генератора. При установке закоротки непосредственно в борно машины использование внешних трансформаторов тока (рисунок 9) становится невозможным, в этом случае лучше использовать трансформаторы тока в нуле генератора.

2. Автоматический Регулятор Возбуждения (АРВ) генератора подключают к независимому источнику 220В (дополнительную обмотку статора на генераторе не используют).

3. АРВ переводят в ручной режим.

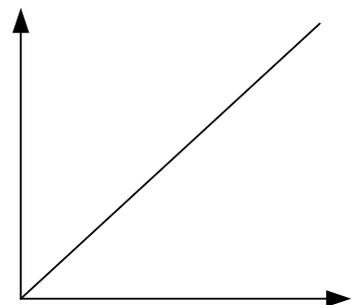
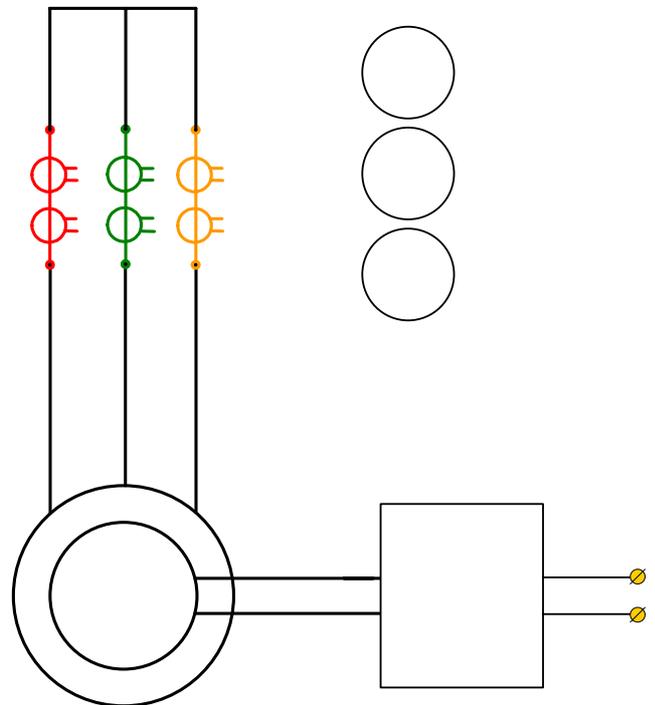
4. Задают генератору номинальные обороты.

5. С помощью АРВ устанавливают ток статора $1,5I_n$, контролируя при этом ток возбуждения по дисплею АРВ. Снимают первую точку характеристики на этом значении. Значение тока статора удобно контролировать по показаниям устройства SEPAM в ячейке генератора, по показаниям этого же устройства можно контролировать потери КЗ.

6. На АРВ снижают ток возбуждения, контролирую ток статора. Снять 7-8 значений (1,2; 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; $0,3I_n$).

7. Отключить АРВ и остановить генератор.

8. Построить кривую КЗ генератора – зависимость тока статора от тока возбуждения машины. Кривая должна иметь вид прямой линии (рисунок 10).



Опыт холостого хода проводится в следующем порядке:

1. Снимают закоротку с выводов машины после опыта КЗ.

2. Подключают питающий кабель от генератора к ячейке в ЗРУ-10кВ, собирают схему (при условии что на данной секции шин 10кВ нет напряжения и отсутствует нагрузка). Если данное условие выполнить невозможно – выключатель ячейки оставляют в выкаченном состоянии, отключают ЗН ячейки и вкатывают трансформаторы напряжения генератора.

3. Схема для проведения опыта ХХ показана на рисунке 11.

4. Автоматический Регулятор Возбуждения (АРВ) генератора подключают к независимому источнику 220В (дополнительную обмотку статора на генераторе не используют).

5. АРВ переводят в ручной режим.

6. Задают генератору номинальные обороты.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

7. С помощью АРВ увеличивают ток возбуждения, контролируя при этом напряжение статора и частоту, первая точка кривой ХХ снимается при значении $1,3U_n$. Удобно производить контроль напряжения по показаниям устройства SEPAM ячейки генератора. Одновременно с первой точкой характеристики холостого хода производится испытание межвитковой изоляции обмотки статора генератора (испытание производится при напряжении статора $1,3U_n$ генератор выдерживают под таким напряжением в течение 5 минут, при этом необходимо контролировать напряжение по фазам – не должно быть несимметрии).

8. На АРВ снижать ток возбуждения, контролируя напряжение статора. Снимают 7-8 точек (1,2; 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; $0,2U_n$).

9. При снижении тока возбуждения до нуля (АРВ не отключен, просто ток равен нулю) снимают остаточное напряжение генератора.

10. Отключить АРВ и остановить генератор.

11. Построить кривую ХХ генератора – зависимость напряжения статора от тока возбуждения (частота должна быть стабильной на протяжении всего опыта).

Испытание возбудителей.

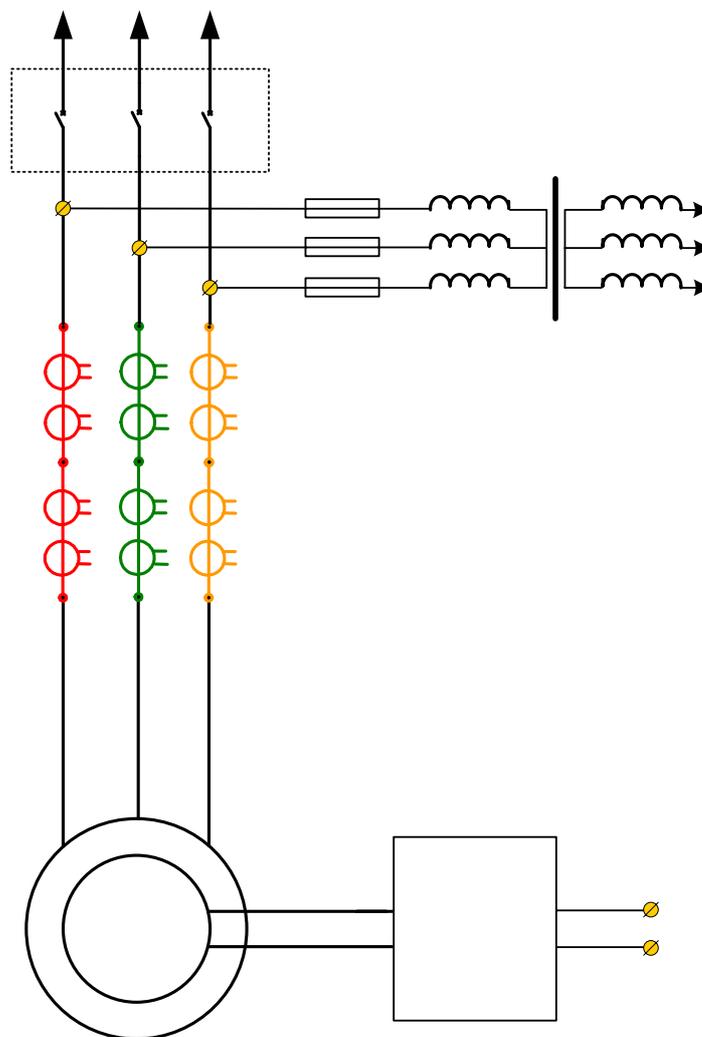
Испытание производится у синхронных генераторов с БВУ.

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

Для проведения проверки полупроводниковых элементов необходимо разорвать 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 дол-



Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

жен 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.

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.

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 сопротивлению 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 ведут 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.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

- 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 выполнять обученным 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 испытании.

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

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

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 Ш, 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 II, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находиться вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующее 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 строке «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 защищён 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.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

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 испытуемого 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 напряжением 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.