

Импульсный тестер — прибор для диагностики состояния изоляции электродвигателей при ремонте и техническом обслуживании



Текст: Алексей Юдин



Внеплановые остановки производства – затратное «удовольствие». На особо важных объектах, где причиной остановки является, например, поломка электродвигателя, стоимость простоя в течение одного часа может составлять десятки тысяч, а то и миллионы рублей. Основная задача в ходе превентивной проверки – сокращение до минимума таких внеплановых остановок и простоев. Согласно данным института инженеров электротехники и электроники¹ 26-36 % всех неисправностей электродвигателей составляют дефекты изоляции. Вот тут и возникает вопрос: что и чем измерять, чтобы обнаружить дефекты в изоляции электрических машин?

Чтобы ответить на данный вопрос, необходимо понимать, какие возможные дефекты могут возникнуть в обмотке электрической машины. Рассмотрим, например, статор. Дефекты в статоре можно разделить на две группы: дефекты в обмотке относительно корпуса статора и дефекты в обмотке между витков (рис. 1 и 2).

Для выявления дефектов в изоляции относительно корпуса проводят тест высоким напряжением постоянного тока, а для выявления дефектов между витками – импульсный тест. При ремонтных работах или периодических технических обслуживаниях необходим компактный прибор, удобный для транспортировки к месту тестирования.

Вторым критерием подбора оборудования является максимальное выходное напряжение прибора, которое можно подать на обмотку при тестировании на пробой или импульсном тестировании для выявления межвитковых дефектов. Для расчета необходимого максимального напряжения прибора следует знать рабочее напряжение двигателя, который будут проверять, или напряжение тестирования высоким напряжением переменного тока. Существующие стандарты, регламентирующие тестовое импульсное напряжение, приводят разные данные. Обычно исправные катушки в электродвигателе способны выдержать большие напряжения, чем указанные в стандартах. Для грубых расчетов, когда речь идет о диагностике или ремонте, т. е. не о новом двигателе, можно пользоваться следующими формулами для определения необходимого импульсного напряжения:

$$U_{\text{тест. HVAC}} = 2 \times U_{\text{ном.}} + 1000 \text{ В}$$

$$U_{\text{имп.}} = 1,5 \times U_{\text{тест. HVAC}}$$

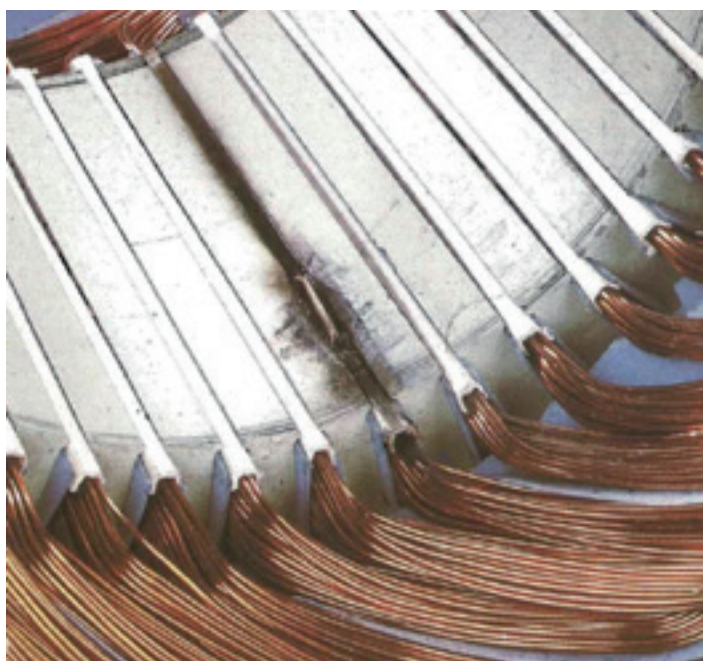
$U_{\text{тест. HVAC}}$ – максимальное напряжение высоким напряжением переменного тока

$U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение электродвигателя

$U_{\text{имп.}}$ – импульсное напряжение тестирования

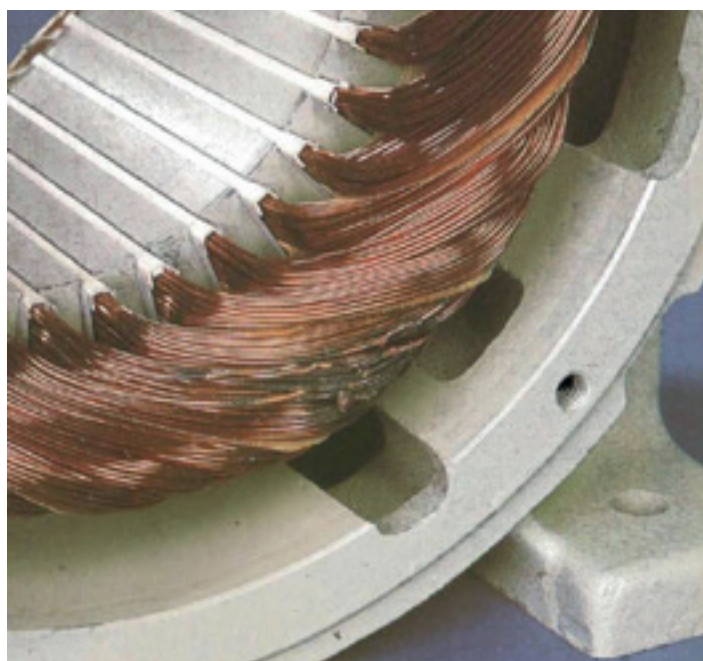
Тестер должен удовлетворять полученным расчетным данным. Импульсное напряжение достаточной амплитуды необходимо еще и для того, чтобы обнаружить все типы дефектов, которые могут возникнуть в изоляции соседних витков. Дело в том, что межвитковые замыкания условно разделяют на две группы: постоянные и возникающие только при подаче повышенного напряжения. Обнаружить дефекты первой группы проще, т.к. это постоянный контакт двух соседних витков с дефектом в изоляции. Вторая же группа относится к тому случаю, когда между витками с дефектом в изоляции нет постоянного контакта, а сам дефект возникает только при большой разнице потенциалов между витками в зоне повреждения изоляции. Тест импульсным напряжением может создать достаточную разницу потенциалов между одиночными витками в короткий промежуток времени.

На рис. 3 и 4 показаны возможные варианты переносных исполнений импульсного тестера от компании Schleich МТС2. Это наиболее актуальное исполнение для тех предприятий, которые занимаются ремонтом и диагностикой электродвигателей. Максимальное им-



1

Замыкание в пазу на корпус



2

Короткое замыкание между витками



3

Мобильное исполнение тестера Schleich MTC2-6 кВ

пульсное напряжение у тестера в таком исполнении – 15 кВ. Из-за размеров корпуса данный тестер нельзя укомплектовать тестом высокого напряжения переменного тока и тестом обнаружения частичных разрядов. Вернее, можно, но это будет отдельный стационарный прибор, подключающийся к тестеру через специальный интерфейс. И будет потеряно одно из основных преимуществ этого оборудования – мобильность. К обязательным тестам, которые всегда включены в комплектацию переносного исполнения, относятся:

- тест импульсным напряжением.
- тест высоким напряжением постоянного тока.

В качестве опции мобильные тестеры можно дооснастить тестом измерения сопротивления с температурной компенсацией.



4

Мобильное исполнение тестеров Schleich MTC2-6 кВ, MTC2-12 кВ, MTC2-15 кВ

Одним из преимуществ импульсных тестеров компании Schleich является их полностью автоматизированный процесс тестирования – однократное подключение выводов тестера к проверяемому статору, в дальнейшем не требуется проводить никаких манипуляций с зажимами независимо от типа испытания. Используя одни и те же зажимы, можно измерять активное сопротивление и проводить тест высоким или импульсным напряжением.

Рассмотрим на примере тестирования статора процесс поиска неисправностей с помощью импульсного тестера Schleich MTC2-15 кВ. Программное обеспечение позволяет проводить тестирование в ручном и автоматическом режимах по уже созданной тестовой программе. Последний режим наиболее актуален при серийном производстве. Оператору необходимо загрузить заранее



5

Проверка якоря на межвитковые замыкания импульсным тестом на установке Schleich MTC2

подготовленную тестовую программу и запустить процесс тестирования. А в случае диагностики статора при проведении ремонтных работ у оператора с большой вероятностью не будет готовой тестовой программы.

После запуска ручного режима тестирования необходимо выбрать схему включения фаз статора и номинальное напряжение (рис. 6). Эта функция предотвращает испытание с применением слишком высокого испытательного напряжения. Тестером предусмотрены максимальные испытательные напряжения в зависимости от номинального напряжения (Т1).

Тестер обнуляет все предыдущие значения тестирования. В нашем примере статор имеет соединение фаз по схеме звезда, номинальное напряжение при данном типе соединения фаз – 415 В.

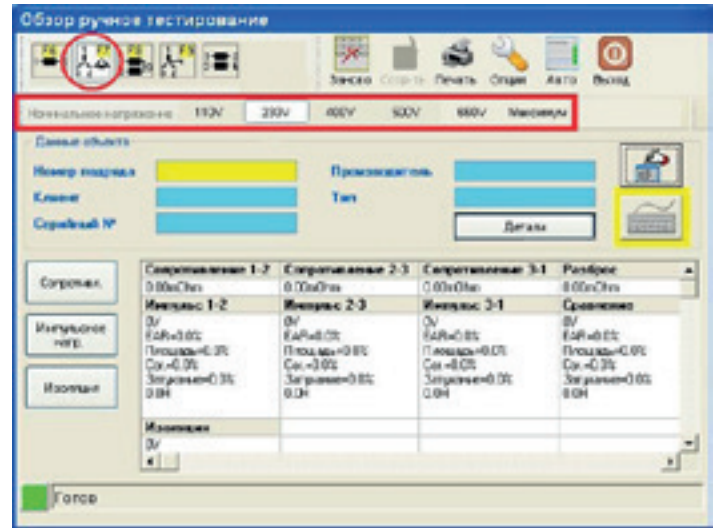
Т 1

Максимальные испытательные напряжения в зависимости от номинального напряжения

НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ	МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ
110 В	1900 В
230 В	2200 В
400 В	2700 В
500 В	3000 В
660 В	3500 В
Максимум	Напряжение ограничивается максимальными возможностями тестера

Далее переходим к тесту измерения активного сопротивления. Тестер делает замеры сопротивления между указанными на дисплее клеммами. Значения отображаются приведенными к температуре +20 °С, чтобы их можно было сравнить с другими, полученными позже при тестировании в других температурных условиях. Также тестер показывает значения без компенсации по температуре, окружающую температуру, при которой проводились измерения, максимальный разброс между измеренными значениями в абсолютных величинах и процентах (рис. 7). Если активные сопротивления удовлетворяют условиям тестирования, можно переходить к следующему тесту.

Проверка импульсным напряжением межвитковой изоляции проводится приложением скачкообразного импульса напряжения между двумя зажимами испытуемых катушек. Межвитковое испытательное напряжение генерируется затухающим колебательным разрядом конденсатора. Если все затухающие осциллограммы, полученные по обмоткам двигателя, совпадают, то можно говорить об отсутствии дефектов. В тестере предусмотрено несколько методов сравнения осциллограмм,



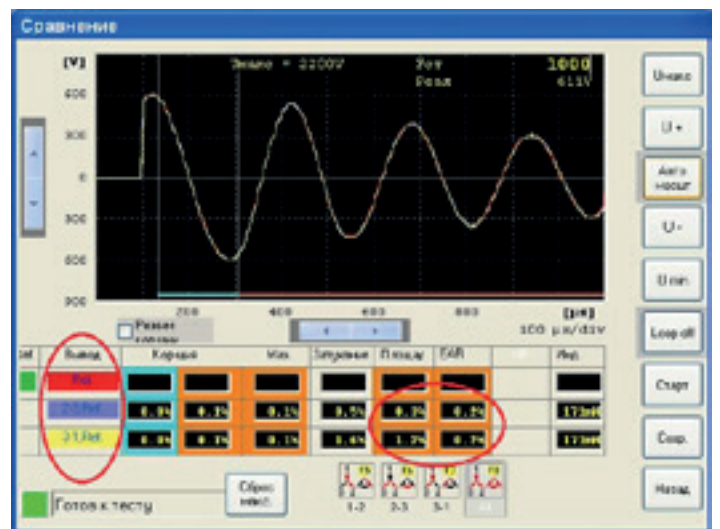
6

Программное обеспечение тестера Schleich MTC2. Ручной режим тестирования: выбор схемы включения фаз и номинального напряжения



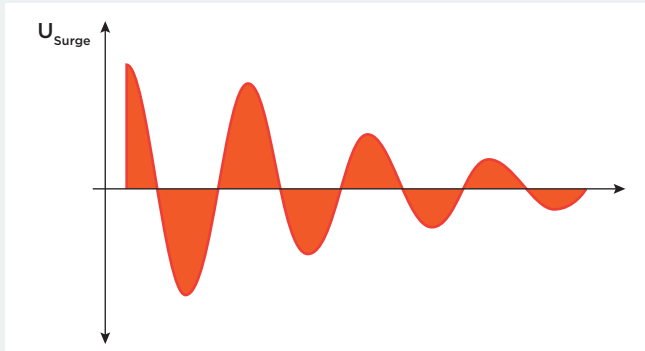
7

Программное обеспечение тестера Schleich MTC2. Ручной режим тестирования: замер сопротивления по всем фазам

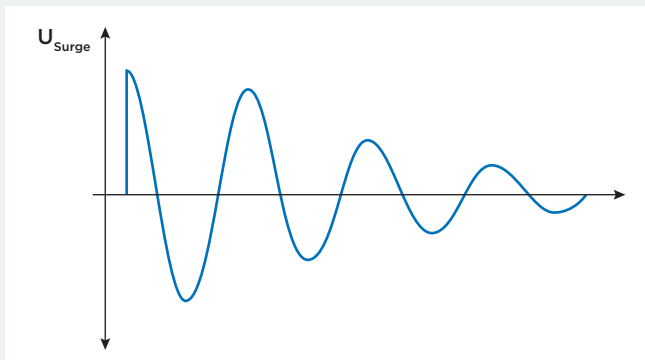


8

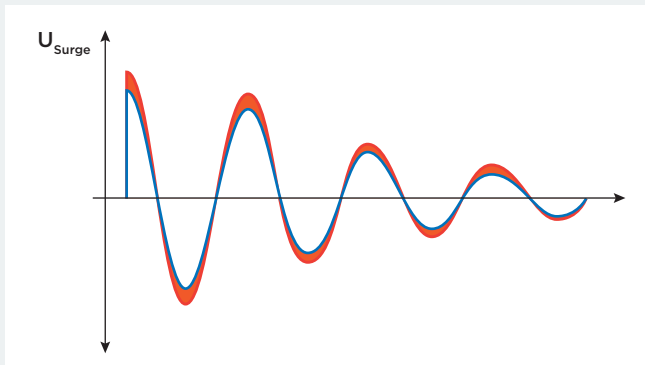
Тест высоким напряжением постоянного тока, расчет коэффициентов абсорбции и поляризации



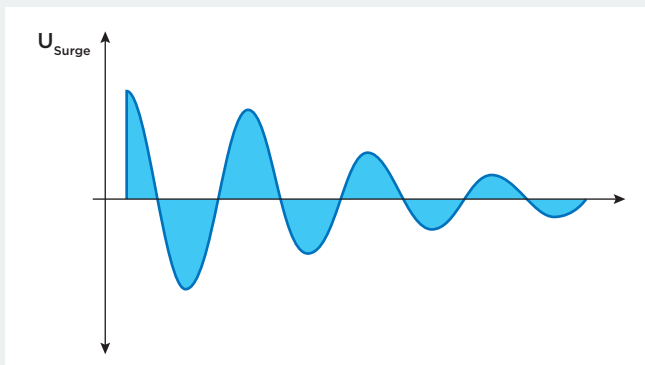
A_{ref} — площадь под базовой осциллограммой



Вторая (сравниваемая) осциллограмма



A_{diff} — разница площадей между базовой и сравниваемой с базовой осциллограммами



A_{blue} — площадь под второй осциллограммой

которые базируются на измерениях площадей под осциллограммой. Главное, что для пользователя есть критерий, по которому можно браковать обмотку – разница в площадях, выраженная в процентах. Естественно, что данная разница будет сильно зависеть от изделия. Но обычно, если активные сопротивления одинаковые, то при условии отсутствия дефектов осциллограммы совпадают, а значит, и разница в процентах между площадями будет стремиться к 0% (рис. 8).

рис. 9 показывает разницу между двумя наиболее распространенными методами сравнения, используемыми в импульсных тестерах компании Schleich.

Формула первого метода сравнения:

$$EAR = |A_{diff}| \times 100 \% / |A_{ref}|, \text{ где}$$

A_{ref} – площадь под базовой осциллограммой;

A_{diff} – разница между базовой и сравниваемой осциллограммами.

Формула второго метода сравнения:

$$EDiffAR = ||A_{ref}| - |A_{blue}|| \times 100 \% / |A_{ref}|, \text{ где}$$

A_{ref} – площадь под базовой осциллограммой;

A_{blue} – площадь под сравниваемой осциллограммой.

Тест высоким напряжением постоянного тока выявляет дефекты в корпусной изоляции. Критерий отбраковки – ток утечки или сопротивление изоляции. Можно настраивать скорость нарастания и время выдержки высокого напряжения при тестировании. Также тестер измеряет коэффициент абсорбции и поляризации (рис. 10). Коэффициент абсорбции измеряют по формуле:

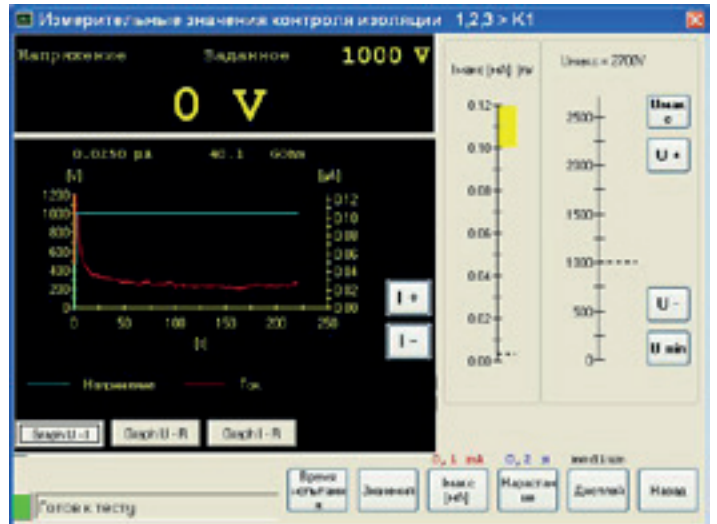
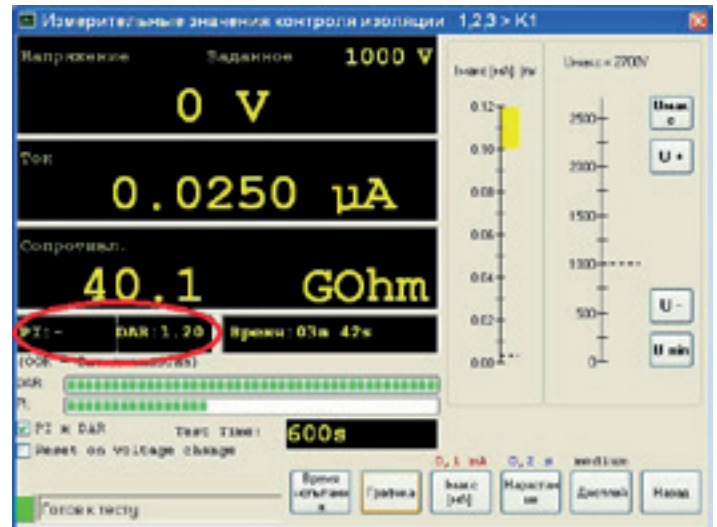
$Kаб = R60 / R15$, где $R60$ и $R15$ – сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 с после приложения напряжения мегаомметра.

Для неувлажненной обмотки при температуре 10–30 °С: $Kаб = 1,3-2,0$, а для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Это различие объясняется разной длительностью заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. Коэффициент поляризации показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении показаний мегаомметра, снятых через 60 и 600 секунд после начала испытаний. Значение коэффициента показывает остаточный ресурс изоляции. Коэффициент поляризации определяется следующими показателями:

- меньше 1 – изоляция является опасной;
- от 1 до 2 – изоляция сомнительная;
- больше 2 – изоляция хорошая.

Абсолютно все импульсные тестеры компании Schleich позволяют выявить дефекты в изоляции обмотки. Это касается как корпусной изоляции, так и межвитковой. Программное обеспечение тестера предоставляет возможность пошагового тестирования для быстрого тестирования двигателя без готовой тестовой программы. Результаты проверки сохраняются, их можно распечатать. Мобильные тестеры полностью адаптированы по конструкции и программному обеспечению для проведения периодических испытаний электродвигателей, а также испытаний после капитального и текущего ремонта.

Мобильные тестеры компании Schleich уже давно являются обычным оборудованием при тестировании электродвигателей в странах Европы и Америки. Учитывая стоимость прибора и типы дефектов, которые он может выявлять, а также оценивая возможные риски при поломке электродвигателей, вопрос о необходимом оборудовании и типах тестирования можно считать закрытым. ☑



10

Тест высоким напряжением постоянного тока, расчет коэффициентов абсорбции и поляризации