

M-Tester – серия переносных приборов для контроля состояния электрических машин переменного тока с напряжением 0,4÷24 кВ

Электрические машины переменного тока (ЭМ) наиболее широко используются в приводах механизмов и технологических установок промышленных предприятий, что обусловлено сравнительной простотой конструкции таких ЭМ, их эффективностью и приемлемой стоимостью.

Существует много разновидностей ЭМ, которые различаются по конструктивным и технологическим параметрам. На практике их разделяют на синхронные и асинхронные ЭМ, на двигатели и генераторы, на низковольтные и высоковольтные электродвигатели, и т. д.

Вне зависимости от наличия такого количества видов ЭМ все они нуждаются в проведении периодической оперативной оценки технического состояния с целью организации эффективного управления их эксплуатацией, сервисным и ремонтным обслуживанием.

Однако в силу ряда причин существующие в настоящее время возможности проведения диагностики и оперативной оценки технического состояния ЭМ переменного тока «на месте эксплуатации» не соответствуют их технологической и экономической значимости.

Доступные для практического использования переносные диагностические приборы и системы контроля ЭМ, которыми обычно оснащаются эксплуатационные и ремонтные службы предприятий, по факту имеют достаточно ограниченный набор технических и диагностических функций.

Реально можно говорить о том, что доступные для использования на практике переносные приборы позволяют контролировать только следующие основные параметры ЭМ переменного тока:

- Сопротивление изоляции обмотки статора, активные сопротивления обмоток статора и ротора.
- Параметры энергопотребления работающей ЭМ из питающей сети, дополнительно анализировать гармонический состав напряжений и токов.
- Вибрационные параметры работающей ЭМ с целью определения технического состояния опорных подшипников и наличия механических проблем ЭМ и агрегата (небаланс роторов, качество центровки механизмов в агрегате).
- Иногда персоналом производится диагностика технического состояния работающей ЭМ по спектрам потребляемых тока и мощности. Этот метод эффективно применим для выявления электромагнитных асимметрий в ЭМ, но на практике его часто используют и для выявления дефектов механического происхождения, что на самом деле не совсем корректно.

Как видно из приведенного перечня используемых на практике диагностических методов речь идет только о поиске самых часто возникающих локальных дефектов, на основании анализа которых сложно достоверно и комплексно оценить текущее техническое состояние контролируемой ЭМ.

Также очевидно, что на основании анализа такого ограниченного набора контролируемых параметров невозможно спрогнозировать возможность дальнейшей безаварийной работы ЭМ, спланировать сроки и объемы проведения ремонтных и сервисных работ.



Рис. 1. Внешний вид прибора марки M-Tester, предназначенного для диагностики электродвигателей с рабочим напряжением до 1 кВ.

Назначение и возможности переносных приборов серии M-Tester производства фирмы ДИМРУС

Для реализации оперативной комплексной диагностики и достоверного контроля технического состояния ЭМ переменного тока фирмой ДИМРУС разработана серия переносных диагностических приборов марки M-Tester.

Она включает в себя три прибора:

- Переносной прибор марки M-Tester, предназначенный для контроля технического состояния ЭМ переменного тока с рабочим напряжением до 1 кВ.
- Переносной прибор M-Tester 20, предназначенный для контроля технического состояния высоковольтных электродвигателей и генераторов с рабочим напряжением до 10 кВ.
- Переносной прибор M-Tester 40, предназначенный для контроля технического состояния высоковольтных электродвигателей и генераторов с рабочим напряжением до 24 кВ.

Для получения максимально эффективной оценки технического состояния ЭМ переменного тока в приборах серии M-Tester реализован расширенный набор методов диагностики, алгоритмов оценки состояния и прогнозирования. Анализ получаемых результатов позволяет формировать рекомендации по корректному управлению эксплуатацией ЭМ.

В зависимости от доступных режимов работы ЭМ, в которых возможно проведение контроля, все диагностические методы в приборах M-Tester методически объединены в три группы:

- Методы, анализирующие техническое состояние ЭМ в статическом режиме, т. е. когда контролируемая машина отключена от сети.
- Методы, позволяющие контролировать стационарные параметры ЭМ в динамическом режиме, когда оборудование стационарно работает, т. е. подключено к сети.
- Диагностические методы, анализирующие техническое состояние ЭМ в переходных режимах, в таких как пуск, увеличение или сброс нагрузки и т.д. Регистрация и анализ параметров ЭМ в этих режимах производится с использованием функций цифрового магнитофона.

Использование в одном приборе такого набора современных технических средств и эффективных экспертных алгоритмов расширяет возможности проведения оценки текущего технического состояния ЭМ на месте эксплуатации.

Как уже указывалось выше, эти диагностические методы дополняют друг друга. В соответствии с этим чем больше при проведении испытаний ЭМ будет использовано диагностических возможностей приборов марки M-Tester, тем более информативными и эффективными будут получаемые экспертные и прогнозные заключения.

Методы статических испытаний электрических машин, реализованные в приборах M-Tester

Статическим называется такой режим работы, когда ЭМ отключена от питающей сети. В этом режиме при помощи переносных приборов марки M-Tester можно выполнить девять различных диагностических тестов и испытаний, результаты которых отражают различные аспекты технического состояния ЭМ:

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток статора относительно земли при приложении повышенного постоянного напряжения.
2. Контроль линейности изменения сопротивления изоляции обмоток статора при ступенчатом повышении испытательного напряжения.
3. Пороговая проверка состояния изоляции обмотки статора подачей повышенного испытательного напряжения, так называемый «Hotpot test», проводимый до пробоя изоляции, но без ее разрушения.
4. Контроль степени увлажнения изоляции обмоток статора по токам абсорбции, определение степени старения изоляции обмоток статора.
5. Контроль состояния и сравнительный анализ параметров фазных обмоток электрической машины в режиме резонансных затухающих колебаний. В этом тесте производится определение равенства электромагнитных параметров фаз обмотки статора.
6. Контроль возникновения разрядных процессов в изоляции обмотки статора электрической машины при приложении к обмоткам колебательного затухающего резонансного напряжения.
7. Определение активного сопротивления обмоток фаз статора постоянному току с использованием стандартного метода амперметра - вольтметра.
8. Анализ параметров схем замещения Z_k фазных обмоток статора электрической машины, определенных в опыте короткого замыкания (без ротора и с ротором). Тест может быть дополнен измерениями при разных частотах испытательного напряжения. По результатам этого теста можно выявить наличие электромагнитной асимметрии обмоток и стали статора.
9. Выявление электромагнитной асимметрии в роторе (наличие проблем в короткозамкнутой клетке или возникновение зон с замыканием листов стали ротора между собой). В этом тесте параметры Z_k фазных обмоток ЭМ определяются с ротором, который последовательно ступенчато поворачивается на определенный угол, при этом контролируется изменение Z_k фазных обмоток статора.

Полный набор всех 9 статических испытаний проще всего выполнять на заводах по производству электрических машин переменного тока. Также эти испытания можно провести во время проведения и после ремонтов.

Динамические испытания, проводимые на работающей ЭМ

Измерения и анализ параметров работающей ЭМ называются динамическими испытаниями, достаточно часто называемыми онлайн-тестами.

При помощи переносных приборов M-Tester в режиме онлайн могут быть выполнены шесть различных диагностических тестов:

1. Анализ спектров потребляемой из сети мощности, выполняемый на основании зарегистрированных фазных токов и напряжений.
2. Контроль высокочастотных гармоник в питающей сети и в потребляемой мощности. Оценка влияния контролируемой электрической машины на высшие гармоники в питающей сети.
3. Контроль наличия электромагнитной асимметрии статора и ротора электрической машины по спектру потребляемой мощности.
4. Контроль дефектов в короткозамкнутой клетке ротора электродвигателя по характерным гармоникам на «частоте скольжения», выявленным в спектре потребляемых тока и мощности.
5. Контроль вибрационных параметров статора электродвигателя, проведение дополнительной диагностики электромеханических дефектов.
6. Оценка технического состояния опорных подшипников качения электродвигателя по вибрационным параметрам.

Динамические испытания ЭМ при помощи приборов серии M-Tester производятся на работающем оборудовании и обычно не требуют проведения значительного количества подготовительных операций.

Анализ пусковых и переходных процессов в электрических машинах

Для некоторых типов ЭМ переменного тока, работающих в составе различных технологических установок, значительный интерес представляет проведение анализа их работы в переходных или так называемых нестационарных режимах работы.

Переходные режимы возникают в результате управляющих воздействий персонала, например, при пуске агрегатов, или они обусловлены технологическими особенностями работы ЭМ, или же в случаях возникновения непредвиденных режимов работы.

При помощи переносных приборов серии M-Tester фирмы ДИМРУС можно проводить исследования работы ЭМ в следующих нестационарных режимах работы:

1. Контроль пусковых режимов ЭМ, проводимый с регистрацией токов и напряжений питающей сети, скорости вращения ротора и с определением расчетного момента на валу электродвигателя.
2. Анализ переходных режимов работы ЭМ с возможностью анализа технологических особенностей типа увеличение или сброс нагрузки.
3. Возможно использование M-Tester в качестве переносного регистратора переходных режимов, позволяющем регистрировать параметры ЭМ в моменты изменения любых рабочих условий. Такой способ работы приборов позволяет в ждущем (автоматическом) режиме регистрировать возникновение переходных процессов работы ЭМ.

**Комплексная оценка технического состояния ЭМ.
Диагностические возможности приборов M-Tester**

Всего при помощи приборов серии M-Tester можно провести до 18 различных тестов и испытаний ЭМ переменного тока. Каждый из этих тестов дает возможность получить частную диагностическую информацию, отражающую какой-либо аспект технического состояния контролируемой электрической машины, электродвигателя или генератора.

Данные, получаемые по итогам проведения отдельных тестов, отражают техническое состояние одной или нескольких подсистем контролируемой ЭМ. Это может быть оценка состояния изоляционной подсистемы ЭМ, электромагнитной, механической и т.д.

Итоговые результаты, полученные при проведении всех диагностических тестов, обрабатываются набором экспертных алгоритмов и подпрограмм, встроенных в программное обеспечение прибора M-Tester.

В процессе экспертной обработки информации, проводимой в автоматическом режиме, оценивается как техническое состояние отдельных подсистем контролируемой ЭМ на основе частных тестов, так и комплексное техническое состояние всей машины, учитывающее результаты всех тестов.

Чем больше различных тестов и испытаний будет проведено диагностом при помощи прибора M-Tester для контролируемой ЭМ, тем более полным и достоверным будет получаемое экспертной системой в приборе диагностическое заключение.

По результатам проведенного анализа дополнительной подпрограммой в приборе M-Tester в автоматическом режиме формируется итоговое диагностическое заключение о техническом состоянии контролируемой ЭМ, электродвигателя или генератора.

Технические особенности проведения испытаний ЭМ прибором M-Tester в статическом режиме работы

Все испытания электрических машин при помощи переносных приборов серии M-Tester в статическом режиме производятся с использованием двух встроенных в приборы многофункциональных источников испытательных напряжений. Другого дополнительного «внешнего» оборудования для проведения всех испытаний ЭМ в статическом режиме не требуется.

Параметры и назначение источников испытательного напряжения прибора M-Tester:

- Регулируемый высоковольтный источник постоянного тока с выходным напряжением, соответствующим марке прибора (4, 20 или 40 кВ). С помощью этого источника определяется сопротивление изоляции обмоток статора и проводится измерение абсорбционных параметров. Этот же источник используется при проведении испытаний фазных обмоток статора при приложении импульсного резонансного затухающего напряжения.
- Однофазный источник переменного тока с регулируемой амплитудой выходного напряжения (до 15В) и частотой (0-600 Гц). При помощи этого универсального источника проводится измерение активного сопротивления фазных обмоток и определение параметров схем замещения обмоток фаз статора при изменении частоты питающего напряжения.

Подключение встроенных источников испытательных напряжений к выводам обмоток статора контролируемой электрической машины производится при помощи набора

измерительных кабелей, стандартно входящих в состав поставки прибора.

В первом режиме, когда производится контроль параметров изоляционной системы обмоток статора, подключение прибора M-Tester к ЭМ осуществляется при помощи 3 однофазных высоковольтных кабелей. Эти кабели рассчитаны на использование при приложении к обмоткам статора ЭМ максимально возможного напряжения встроенного высоковольтного источника прибора, которое зависит от модификации прибора.

Подключение прибора ко всем фазам обмотки статора контролируемой ЭМ выполняется однократно, перед началом проведения измерений.

В дальнейшем все необходимые изменения измерительной схемы, проводимые при переходе от одного типа испытания к другому, производятся внутри прибора при помощи встроенных высоковольтных реле. Управление коммутациями реле осуществляется автоматически, после выбора пользователем или сформированной программой необходимого теста.

Измерение величины комплексного сопротивления, измерение параметров Z_k фазных обмоток статора при помощи прибора M-Tester также производится с использованием этих же кабелей. Для этого обмотки статора внутри прибора переключаются на источник испытательного переменного напряжения.

Во второй группе тестов, также проводимых в статическом режиме ЭМ, производится определение активных сопротивлений фазных обмоток статора с использованием встроенного источника переменного тока, который переводится в режим источника постоянного тока.

В этом режиме подключение прибора M-Tester к контролируемой ЭМ производится при помощи многожильного измерительного кабеля, на конце которого находятся трое клещей Кельвина. Этот многожильный кабель подключается к другому разъему на лицевой панели прибора.

Определение величины активного сопротивления и параметров схем замещения отдельных фаз обмотки статора производится без переключения измерительных клещей на выводах ЭМ. Это делается расчетным путем с учетом реальной схемы соединения фазных обмоток в статоре: в звезду или треугольник.

Перед проведением измерений активных сопротивлений предварительно рассоединять фазы обмотки статора между собой не нужно.

Проведение испытаний ЭМ приборами M-Tester в динамическом режиме

В динамическом режиме при помощи переносных приборов серии M-Tester контролируются наиболее значимые эксплуатационные и технологические параметры ЭМ переменного тока.

Все проводимые при помощи приборов серии M-Tester измерительные тесты и испытания в динамическом режиме работы ЭМ подразделяются на три функционально разные группы:

- Контроль и анализ потребляемых электродвигателем из питающей сети токов и мощностей. Для проведения этого анализа необходимо проведение синхронной регистрации трех фазных токов при помощи измерительных клещей, входящих в состав поставки прибора, и трех питающих сетевых напряжений,

измеряемых с использованием делителей напряжения или дополнительных измерительных трансформаторов напряжения.

- Контроль параметров токов и напряжений питающей сети, а также частоты вращения ротора ЭМ в переходных режимах работы. Запуск прибора M-Tester на регистрацию технологических параметров в этом режиме может осуществляться пользователем вручную или в автоматическом режиме, по факту превышения электродвигателем порогового значения потребляемого из сети тока.

- Контроль вибрационных параметров ротора и статора электродвигателя в рабочих режимах. Измерение вибрационных параметров статора проводится на его поверхности, а вибрация опорных подшипников измеряется в зоне подшипниковых узлов. Все вибрационные измерения производятся при помощи входящего в состав поставки приборов M-Tester компактного переносного виброметра марки ViPin.

Результаты диагностики электродвигателя в динамических режимах максимально значимы для организации эффективной эксплуатации. Они также дополняют результаты испытаний в статическом режиме и оказывают влияние на комплексную оценку технического состояния контролируемой ЭМ.

Способы управления функциями приборов серии M-Tester и внешние интерфейсы связи

Все диагностические тесты и испытания ЭМ выполняются прибором M-Tester в ручном режиме или по заданной программе, последовательно, в автоматическом режиме работы.

Для удобства работы с функциями прибора при проведении диагностических испытаний предусмотрено несколько вариантов управления работой.

Основным режимом управления функциями прибора является использование активного экрана, встроенного в прибор компьютера (под управлением операционной системы Linux), расположенного на лицевой панели прибора.

Допускается дистанционное управление прибором при помощи удаленного смартфона, планшета, ноутбука, подключаемых к встроенному компьютеру при помощи беспроводного интерфейса Bluetooth.

Передача полученной первичной и обработанной экспертной системой информации о состоянии электродвигателя в систему АСУ-ТП может производиться при помощи нескольких интерфейсов связи:

- Подключение прибора M-Tester к внешнему компьютеру для передачи данных может осуществляться при помощи стандартного проводного интерфейса типа Ethernet.
- Передача и копирование информации о выполненных тестах, загрузка данных и модификация программного обеспечения в прибор M-Tester может производиться при помощи локального интерфейса USB.

Конструктивное исполнение и технические параметры приборов серии M-Tester

Все переносные приборы серии M-Tester конструктивно выполнены в виде единого законченного моноблока, для удобства использования поставляемого в герметичном пластиковом транспортном кейсе.

В корпусе прибора M-Tester располагаются все необходимые для его работы элементы:

- Встроенный в прибор компьютер, предназначенный для регистрации, обработки и хранения первичной и архивной информации.

- Цветной активный экран размером 10" для отображения информации и управления всеми функциями прибора M-Tester.

- Два источника испытательного напряжения: высоковольтный источник постоянного тока и источник переменного тока с изменяемой амплитудой и частотой выходного сигнала.

- Необходимые для обработки сигналов усилители и преобразователи входных сигналов, подключенные к разъемам на внешней панели прибора.

Функциональные возможности всех приборов, независимо от напряжения контролируемых ЭМ, являются одинаковыми.

Отличие габаритных размеров приборов серии M-Tester между собой возникает от того, что встроенные в приборы разных марок источники постоянного тока имеют различное выходное напряжение и размеры. Поэтому изменяются размеры транспортных чемоданов, в которых поставляются разные модификации приборов M-Tester.

Внешний вид самого «низковольтного» прибора марки M-Tester, предназначенного для диагностики различных электродвигателей с рабочим напряжением до 1 кВ, показан на рисунке 1, приведенном в начале документа.

Для диагностики дефектов и оценки технического состояния высоковольтных электродвигателей и генераторов с рабочим напряжением 6-10 кВ предназначен прибор марки M-Tester 20. Внешний вид переносного прибора марки M-Tester 20 приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид прибора марки M-Tester 20, предназначенного для диагностики электродвигателей и генераторов с рабочим напряжением до 10 кВ.

Основное отличие этого прибора от прибора марки M-Tester состоит в наличии в нем встроенного регулируемого высоковольтного источника с выходным напряжением не 4 кВ, а 20 кВ. Для осуществления внутренних коммутаций фаз при переходе от одной измерительной схемы к другой в нем используются высоковольтные реле другого типа. Подключение высоковольтных кабелей производится на задней стенке прибора при помощи разъемов, размеры которых тоже увеличились. В результате внешние габариты прибора значительно выросли.

Для проведения диагностики и оценки технического состояния высоковольтных генераторов с рабочим

напряжением до 24 кВ фирмой ДИМРУС предлагается использовать переносный прибор марки M-Tester 40.

Внешний вид прибора этого прибора полностью соответствует внешнему виду прибора марки M-Tester 20, только его размеры получились немного больше за счет использования более габаритных высоковольтного источника, коммутационных реле и внешних разъемов.

Все необходимые для работы переносных приборов серии M-Tester принадлежности поставляются в дополнительном транспортном чемодане, внешний вид которого приведен на рисунке 3. Этот чемодан является универсальным, он подходит для использования со всеми приборами серии M-Tester. Перечень принадлежностей и сигнальных кабелей, находящихся в этом чемодане, приведен ниже в таблице.

Для «самого низковольтного» переносного прибора марки M-Tester, рассчитанного на диагностику электродвигателей переменного тока с рабочим напряжением до 1 кВ, гибкие высоковольтные измерительные провода с рабочим напряжением до 5 кВ располагаются в общем транспортном чемодане.

Для более высоковольтных диагностических приборов марки M-Tester 20 и M-Tester 40 измерительные провода имеют значительно большее сечение и размеры. По этой



Рис. 3. Внешний вид транспортного чемодана с дополнительными принадлежностями, входящего в поставку всех приборов марки M-Tester.

причине в стандартный чемодан с принадлежностями прибора марки M-Tester они уже не входят.

Для обеспечения бережного хранения и перевозки этих ответственных измерительных кабелей используется дополнительный транспортный чемодан.

Основные технические параметры приборов серии M-Tester

Параметр	M-Tester	M-Tester 20	M-Tester 40
Выходное напряжение источника DC, кВ	4	20	40
Выходной ток источника DC, mA	10	10	8
Выходное напряжение источника AC, В	15	15	15
Выходной ток источника AC, А	5	5	5
Выходная частота источника AC, Гц	0...1000	0...1000	0...1000
Температура эксплуатации прибора, град	0...+50	0...+50	0...+50
Размеры прибора M-Tester в кейсе, мм	420*340*220	728*510*350	680*670*370
Масса прибора M-Tester, кг	4	14	20
Размеры кейса с принадлежностями, мм	560*330*210	560*330*210	560*330*210
Масса кейса с принадлежностями, кг	9,0	9,0	9,0

Перечень поставки дополнительных принадлежностей к приборам серии M-Tester

Наименование позиции в поставке	M-Tester	M-Tester 20	M-Tester 40
Измерительный прибор M-Tester в транспортном кейсе	1	1	1
Кабель для подключения сетевого питания к прибору	1	1	1
Кабель высоковольтный для контроля изоляции обмоток, 6 м	4	3	3
Кабель с клещами Кельвина для измерения сопротивлений, 3 м	1	1	1
Бесконтактный пирометр для измерения температуры статора ЭМ	1	1	1
Коммутационная коробка К-3/ТТ для подключения ТТ	1	1	1
Клещи токоизмерительные	3	3	3
Переносный виброметр ViPin для контроля вибрации	1	1	1
Зарядный блок с кабелем для виброметра	1	1	1
Лазерный отметчик ОЛ для контроля частоты вращения ротора	1	1	1
Кабель для подключения отметчика фазы, 6 м	1	1	1
Магнитная стойка для установки отметчика фазы	1	1	1
Измеритель относительного угла положения ротора	1	1	1
Кабель заземления прибора, 2 м	1	1	1
Транспортный кейс для датчиков и принадлежностей	1	1	1
Транспортный кейс для хранения высоковольтных кабелей	-	1	1