

Без чего НЕВОЗМОЖНО изобрести TESLA- МОБИЛЬ?



Текст: Алексей Юдин

Всем известна фраза: «Мотор — сердце машины». С этим не поспоришь! Без двигателя автомобиль становится бесполезной кучей металла, перемещать которую можно только либо вручную, либо с помощью тягловых животных. В полностью электрическом седане Tesla model S, автомобиле 2013 года по версии нескольких авторитетных автоизданий, вместо привычного двигателя внутреннего сгорания используется трехфазный асинхронный электродвигатель **рис 1**. Один из этапов сборки этого сверхсовременного автомобиля — этап тестирование электродвигателя, т.е. проверка на отсутствие в нем дефектов.

Определенные виды измерений, подтверждающие качество выпускаемых электродвигателей, выполняют почти все производящие их предприятия. К ним относятся измерение сопротивления обмоток и тест высоким напряжением. Эти тесты настолько общеизвестны и понятны, что, измеряя сопротивление обмотки, многие искренне верят, что этот способ всемогущ и всегда определит наличие всех возможных дефектов, поэтому можно ограничиться только им. На деле это, конечно, не так.

Производство качественных электродвигателей требует от производителя комплексного подхода при



Производитель	Tesla Motors
Марка	Model S
Тип	трёхфазный асинхронный двигатель
Мощность	225, 270 или 310 кВт
Крутящий момент	430, 440 или 600 Н·м
Макс. скорость	201 км/час
Разгон до 100 км/ч	5,6 с
Тип аккумулятора	литий-ионный
Дальность хода	370 или 480 км
Время зарядки	8 ч

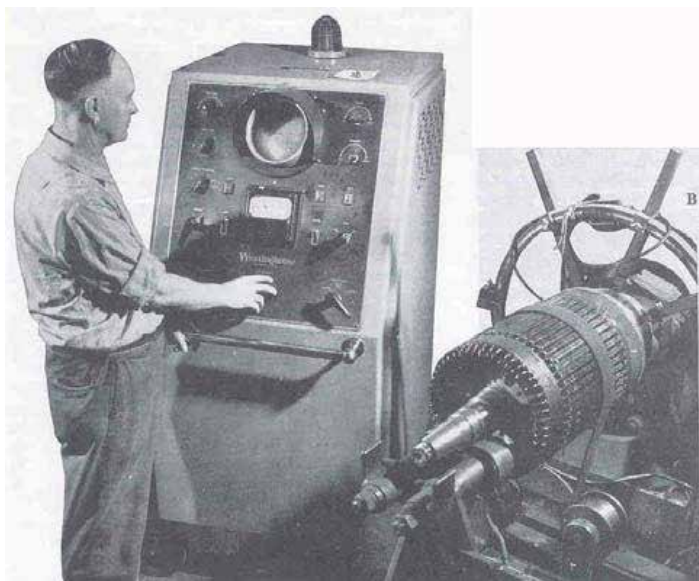
1

Вид в разрезе, электродвигатель Tesla Model S

проверке на наличие дефектов. Особую сложность вызывает поиск межвитковых замыканий. В определенных ситуациях и по изменению в сопротивлении можно диагностировать межвитковые замыкания. Но данный тест не панацея от всех «болезней» электродвигателя. Нельзя утверждать, что если нет различия в обмотках по сопротивлению, то в данных обмотках нет межвитковых замыканий. Уменьшение активного сопротивления за счет замыкания соседних витков, как правило, меньше допуска на сопротивление исправной обмотки.

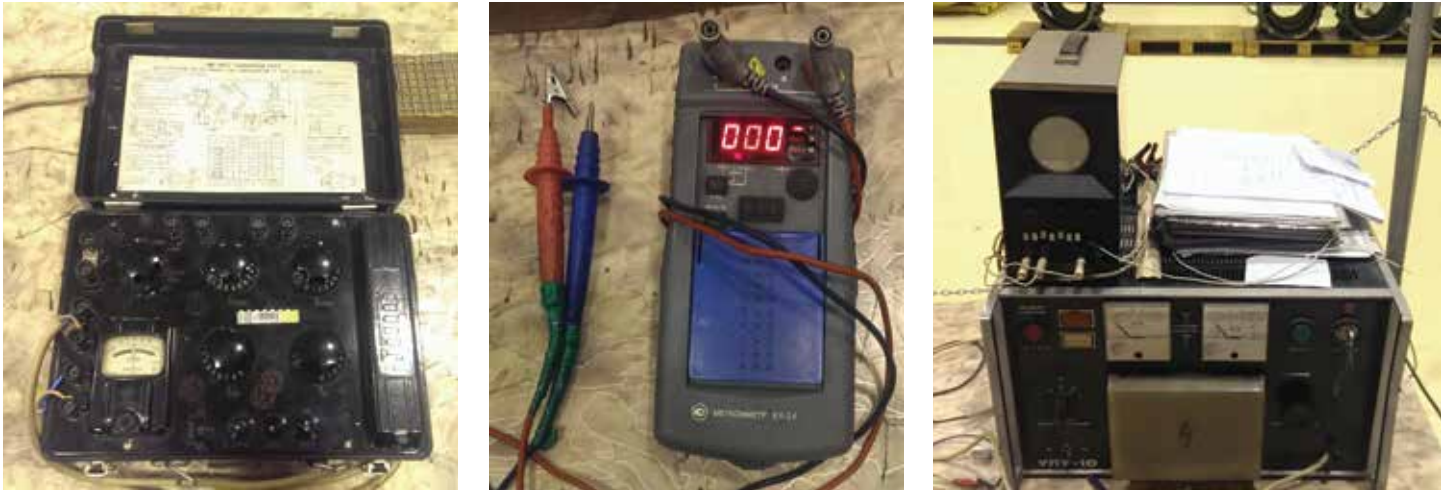
Еще в 1926 году в качестве основного способа определения межвитковых замыканий был предложен импульсный тест. С тех пор именно этот метод тестирования применяется в производственной практике рис 2.

Современные импульсные тестеры значительно изменились и стали принципиально другими. На смену огромным тестовым машинам пришли компактные переносные приборы весом около 20 кг, позволяющие с легкостью проводить тестирование в полностью автоматическом режиме благодаря наличию у них на борту полноценного персонального компьютера. Но, так или иначе, основу тестирования составлял и составляет именно импульсный тест.



2

Фотография из статьи Westinghouse, июль 1951 года: тестирование межвитковой изоляции путем сравнения осциллограмм



3 Приборы для подтверждения качества электродвигателя: мост одинарный P333, мегаомметр Е6-24, ЕЛ-1, УПУ10



4 Линейка импульсных тестеров компании Schleich GmbH

Чаще всего на предприятиях, занимающихся производством электрических машин, на этапе контроля вы обнаружите следующие приборы:

- омметр, позволяющий измерять активное сопротивление обмоток (например, мост одинарный P333);
- мегаомметр, позволяющий измерять сопротивление изоляции;
- установку пробойную универсальную (чаще всего это УПУ-10).

В лучших случаях к этому перечню добавляется прибор для определения межвитковых замыканий типа ЕЛ-1 или ЕЛ-15, которые в настоящее время уже не выпускаются рис 3.

Давайте рассмотрим подробнее, что представляет собой современный импульсный тестер на примере импульсных тестеров компании Schleich GmbH рис 4. Это автоматизированное средство контроля качества простое в эксплуатации и не требует наличия специальных знаний и опыта у оператора.

Изучим особенности тестирования в той последовательности, в которой тесты присутствуют в установке.

Первый тест — измерение активного сопротивления. Чтобы добиться точного измерения активного сопротивления обмотки, необходимо измерять его четырехпроводным методом (методом Кельвина). Реализуется в установке это следующим образом: по двум цепям подается ток, по двум другим снимается напряжение, далее по закону Ома прибор вычисляет сопротивление. Компания Schleich комплектует прибор крокодилами Кельвина собственного производства рис 5, рис 6 с надежными пластинами контактирования. Сделано это с целью максимального контроля качества исполнения всех комплектующих, используемых в тестере.

Еще одна особенность данного теста в том, что все измерения сопротивления приводятся к 20°C, чтобы их можно было сравнить в любой момент времени независимо от температуры во время тестирования. Для этого в тестере предусмотрен специальный температурный датчик, который замеряет температуру окружающего воздуха.



5 Три типоразмера крокодилов Кельвина производства компании Schleich



6 Крокодилы Кельвина, расположенные рядом. На фото видны две отдельные изолированные друг от друга части клеммника

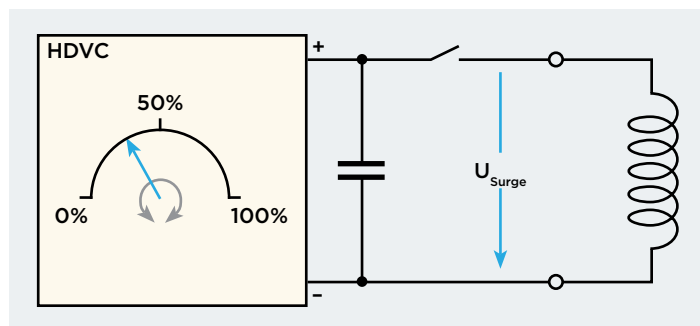
Следующий тест — импульсный. Этот тест один из наиболее важных, потому что он позволяет локализовать наибольшее количество дефектов в обмотке электродвигателя. Суть теста в сравнении осциллограмм, полученных по разным обмоткам: при отсутствии дефектов в обмотках их осциллограммы полностью совпадают.

Для начала разберемся, откуда берутся эти осциллограммы. Импульсное напряжение на обмотке генерируется путем быстрого подключения заряженного конденсатора. На рис 7 приведена блок-схема, иллюстрирующая принцип работы тестера.

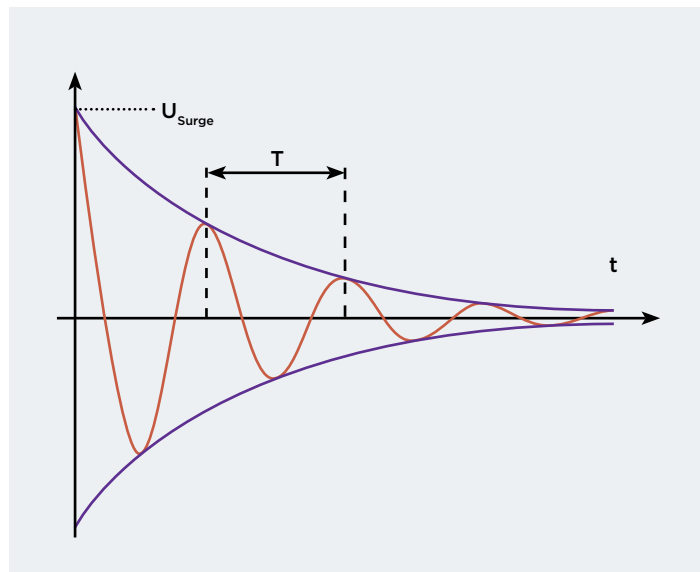
В тестере установлены конденсатор, электронный ключ и дисплей. Катушка справа — это обмотка, которую мы тестируем. Электронный ключ подключает заряженный конденсатор к тестируемой обмотке, вследствие чего на обмотке появляется импульсное напряжение. А связка из конденсатора и катушки образует колебательный контур, в котором и возникают гармонические колебания.

Каждая осциллограмма обладает определенными характеристиками. Эти характеристики зависят от емкости, установленной в тестере, и от индуктивности обмотки. Можно сказать, что характеристики индивидуальны для каждой конкретной обмотки рис 8. Таким образом, если мы рассматриваем абсолютно одинаковые обмотки, то их характеристики должны совпадать, т.е. должны совпадать их осциллограммы.

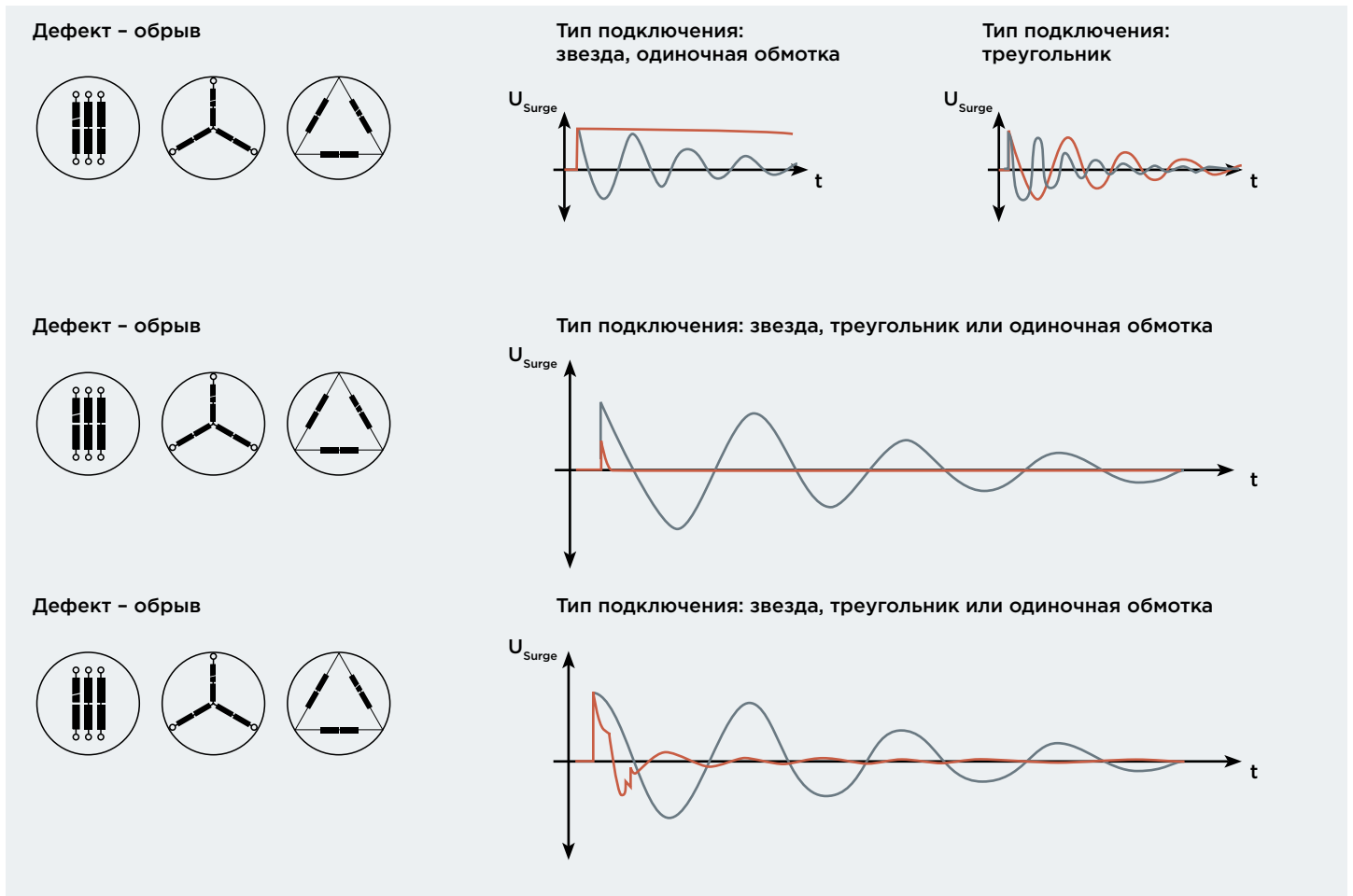
Для того чтобы импульсные тестеры могли работать в автоматическом режиме, в них заложены методы сравнения осциллограмм, которые базируются на сравнении площадей под кривой. Эти математические методы дают несомненное преимущество, позволяющее определять годность изделия без участия оператора.



7 Блок-схема импульсного тестера



8 Характеристики осциллограммы



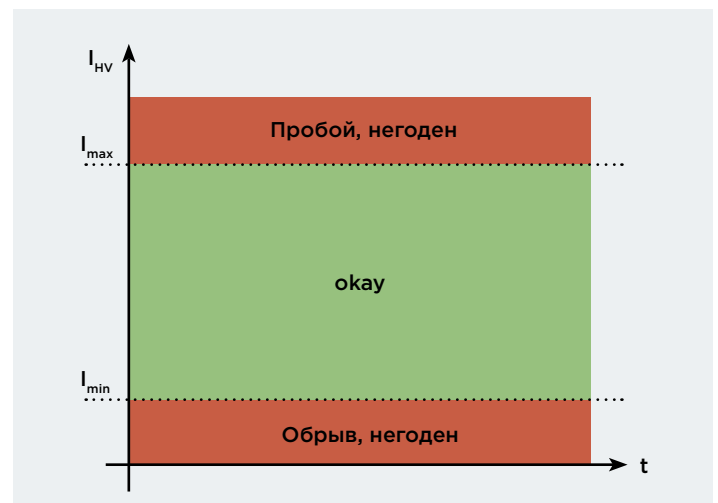
9 Примеры осциллограмм на экране прибора при различных дефектах и схемах включения обмоток

Из-за наличия различных потерь в колебательном контуре энергия, запасенная в конденсаторе, будет рассеиваться. Измеряя зависимость напряжения на концах катушки от времени, мы получим затухающую осциллограмму с характеристиками, отличающимися от исправной обмотки. В тестере также предусмотрено сравнение обмоток статора с определенной схемой включения: звезда, треугольник, одиночные обмотки и т.д. На рис. 9 приведены примеры осциллограмм на экране прибора при различных дефектах и схемах включения обмоток.

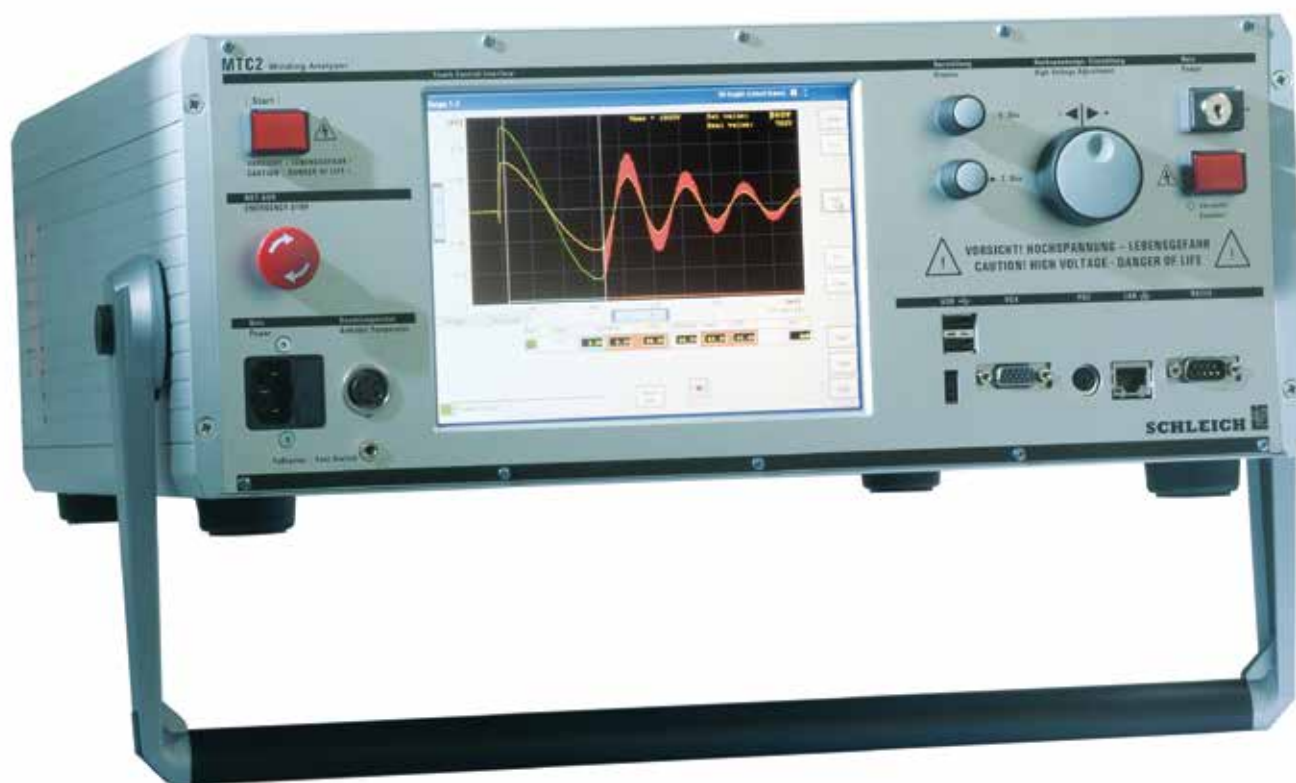
Кроме описанных дефектов прибор может определять следующие ошибки в статоре:

- межвитковые замыкания, которые возникают только при подаче повышенного напряжения;
- замыкания между разными фазами;
- замыкания между разными фазами, которые возникают только при подаче повышенного напряжения;
- неверное количество витков в обмотке;
- неправильное соединение катушек в группе;
- неправильную фазировку обмоток электродвигателя;

- замыкания на корпус;
- ошибки, связанные с укладкой витков катушки в неправильный паз статора.



10 Два порога при измерении тока утечки



11
Schleich MTC2 — 6кВ

Третий тест, который мы рассмотрим в данной статье — тест высоким напряжением постоянного тока. Импульсные тестеры компании Schleich позволяют измерять сопротивление изоляции, ток утечки, коэффициенты абсорбции и поляризации. Чтобы можно было избежать ошибок подключения, прибор имеет две границы по току утечки: минимальная и максимальная. Если ток утечки больше максимального порога, изделие будет признано негодным. Если ток утечки меньше минимального порога, можно предположить наличие обрыва между клеммами высоковольтных проводов тестера и объекта тестирования [рис 10](#).

Все описанные тесты не требуют переключений во время тестирования. В тестере предусмотрена возможность проверять все обмотки относительно друг друга и корпуса статора благодаря наличию коммутационной матрицы.

В заключение ответим на вопрос, прозвучавший в названии статьи. Определить качество выпускаемого электродвигателя — «сердца» современного гибридного или полностью электрического автомобиля — невозможно без соответствующих тестов. Возможно, кто-то

возразит, что проверки электродвигателя могут сводиться к подключению к сети. Но, даже включив двигатель в сеть, мы тоже проводим определенное «тестирование»: по запаху или внешнему виду. Современные импульсные приборы позволяют находить практически все возможные дефекты, которые могут возникнуть в обмотке электрической машины. Возможности современных импульсных тестеров не сводятся только к трем вышеописанным тестам — это один из возможных вариантов комплектации, который может заменить многие существующие на большинстве предприятий приборы. 