

Контроль электрического сопротивления и сечения силовых кабелей в процессе их производства

Материал поступил в редакцию 13.08.2019
E-mail: dmilz@aesa-cortaillod.com

Denis Milz, руководитель отдела продаж и сервисного обслуживания, AESA S.A. (Швейцария)

Для производства силовых кабелей требуется огромное количество дорогостоящего сырья, такого как медь и алюминий. Принимая во внимание растущий дефицит этих ресурсов, единственно логичным решением выглядит использование этого сырья максимально рационально. Это значит, что характеристики изготавливаемого кабеля должны в точности соответствовать требованиям по сопротивлению и сечению токопроводящих жил при минимально достаточном для их производства количестве сырья. Чтобы добиться этого, необходимо уже в процессе производства знать точные значения этих параметров. Мосты сопротивления серии 8130 компании AESA, в основе работы которых лежит принцип индукции тока, позволяют проводить неразрушающие испытания кабеля непосредственно в процессе его производства.

НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ И СЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Поскольку площадь поперечного сечения кабеля – величина заданная, может показаться, что соответствия техническим условиям легко можно добиться простым решением, определив, какой калибр для жилы использовать, и в соответствии с этим рассчитать нужное количество жил для скрутки. В действительности же, и это известно каждому производителю кабеля, на расчёт фактической площади сечения, а, следовательно, и удельного сопротивления, оказывает влияние ряд по большей части непрогнозируемых факторов, возникающих в процессе производства, начиная с момента, когда отдельные жилы отматываются с катушек, и заканчивая моментом получения уже готовой продукции.

Удельное сопротивление жил, поступающих с различных катушек, точно неизвестно; эта неопределённость обусловлена допусками по диаметру и качеству, связанными с процессом волочения проволоки. В ходе скрутки могут возникать эффекты растяжения и деформационного упрочнения, особенно при уплотнении или изготовлении жилы секторного сечения. Отдельная жила будет иметь большую длину, чем готовый кабель, разность по длине определяется положением скрученных жил в кабеле.

Следующие за скруткой жил операции, такие как наложение оболочки, включая перематку готового кабеля, также могут вызывать изменение сопротивления. Однако опыт показывает, что это влияние незначительно и не

меняется при переходе от одного производственного цикла к следующему.

Другие изменения, особенно носящие случайный характер, могут иметь отношение непосредственно к линии скрутки. К изменениям такого рода относятся:

- неравномерность торможения различных катушек с проводом;
- износ фильер;
- отклонения в затягивании уплотняющих роликов.

Имея представление о наличии вышеупомянутых факторов, производитель кабеля часто вынужден завышать сечение жилы, увеличивая тем самым потребление металла. В противном случае он рискует тем, что изготовленные им кабели не будут соответствовать техническим условиям.

Удельное сопротивление готового кабеля можно точно спрогнозировать по скрученной жиле, на которую ещё не нанесли изоляцию. Решение заключается в том, чтобы измерить удельное сопротивление жилы в процессе скрутки, пока еще возможно изменить параметры по ходу процесса. Это позволяет производителю быть уверенным, что изготовленный им кабель будет соответствовать техническим условиям, не прибегая при этом к завышению размера жилы. Таким образом, находится оптимальное решение, позволяющее избежать избыточного потребления металла и риска, что готовая продукция не будет соответствовать техническим условиям. В идеале необходимо снять несколько показаний по всей изготавливаемой длине, и это следует сделать хотя бы раз по ходу производственного цикла.

ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Раньше приходилось останавливать процесс производства, отрезать образцы от места концевой заделки кабеля, чтобы проверить их в лаборатории, после чего процесс производства запускали снова. Кроме того, что возникающий в результате этого простой линии скрутки приводил к снижению производительности, такой способ не был достаточно надёжным в плане получения достоверных результатов, так как образец, взятый с места концевой заделки кабеля, не был репрезентативным для жилы на всей изготавливаемой длине, поскольку во время запуска линии скрутки конкретные механические нагрузки различно воздействуют на первые несколько метров кабеля.

Результат, полученный путём взвешивания, не учитывает фактическое сопротивление металла. Использование измерительных мостов заставляет задуматься о проблеме плохой поперечной проводимости между жилами на коротком образце кабеля, когда подаваемый ток распределяется неравномерно, и прибор показывает завышенные значения удельного сопротивления. В случае жил из алюминия или его сплавов ошибка при использовании данного метода может быть слишком большой, если концы образца, где находятся зажимы, недостаточно аккуратно спаяны или зажаты перед испытанием. Также остаётся проблема измерения температуры жилы термометром и расчёта необходимой поправки.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ

Измерители сопротивления и поперечного сечения серии 8130 обеспечивают точное и быстрое измерение сопротивления кабелей в процессе производства. Это делается непосредственно на машине скрутки без необходимости отрезать образец. Процедура заключается в том, чтобы подавать переменный ток очень малой частоты в жилу, измеряя этот ток и рассчитывая сопротивление по падению напряжения на точно определённой длине жилы. Инструмент выполнен в виде рамной конструкции на колесах с индукционным и токоизмерительным трансформаторами, измерительной консолью с расположенными на ней контактами для испытания напряжением и температурными датчиками. Генератор тока, контуры измерения и индикации размещены отдельно в контрольном блоке. Показания автоматически приводятся к номинальной температуре в соответствии с температурным коэффициентом для используемого металла (медь или алюминий).

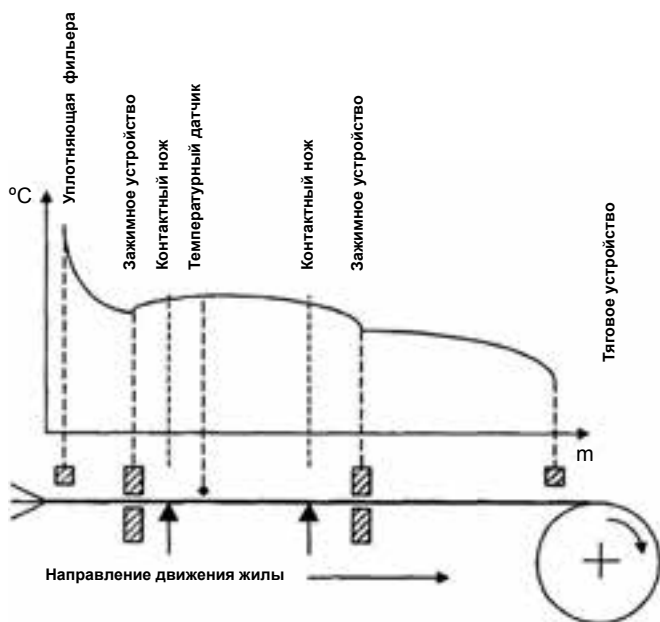


Рис. 1. Распределение тепловых потоков в движущейся жиле

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Использование индуцированного переменного тока – это с технической точки зрения самое оптимальное решение, чтобы подать ток в измеряемый участок жилы. Следует также отметить, что при таком техническом решении устранён эффект электрического разряда через корпус машины, поэтому не требуется никакой изоляции или изменения конструкции машины. Также устранены проблемы с падением напряжения на контактах, которые неизбежны при использовании измерительных мостов, работающих на постоянном токе. Наконец, использование переменного тока очень малой частоты означает, что на точность показаний не будет влиять скин-эффект. Частота задается согласно параметру тока в цепи энергопитания (50 или 60 Гц), чтобы минимизировать влияние неизбежных скачков напряжения, что иногда случается на промышленных предприятиях. Чтобы избежать нежелательного нагрева жилы, используется небольшой по величине ток.

УЧЁТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Как правило, и это особенно применимо в случае алюминиевых жил, отсчёты берутся между последней головкой линии скрутки (уплотняющей фильерой) и тяговым устройством. В этой точке жила натянута и зафиксирована. Однако её температура может всё ещё оставаться достаточно высокой в результате эффекта деформационного упрочнения и обычно в 1,5 раза, а порой и более, превышает номинальную температуру. Несмотря на то, что в измерителе сечения / сопротивления реализована функция температурной компенсации для приведения температуры к номинальному значению 20 °C или 25 °C (в зависимости от технических условий), тем не менее необходимо выждать некоторое время, прежде чем брать отсчёт. В течение этого времени показания будут медленно расти в результате неравномерного распределения температуры по измеряемой жиле.

Самое высокое значение температуры будет у уплотняющей фильеры, а самое низкое – в месте соприкосновения жилы с тяговым устройством. Между этими двумя точками распределение тепла осложняется за счёт относительно холодных поверхностей зажимов на

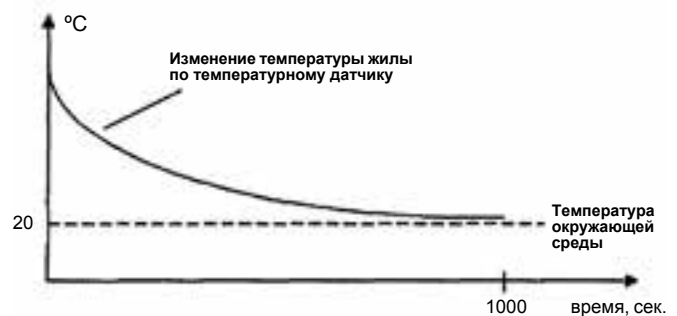


Рис. 2. Охлаждение поверхности жилы под воздействием окружающей среды

измерительной консоли; здесь присутствуют несколько тепловых потоков, идущих от центра области измерения к зажимам, от уплотняющей фильеры к ближайшему зажиму на измерительной консоли и т.п.

Распределение этих тепловых потоков схематично показано на рис. 1. Очевидно, что температура жилы не может рассматриваться как точно определённое значение, даже если положение температурного датчика по отношению к контактам измерителя напряжения позволяет обоснованно предположить, что измеренное значение – это средняя температура испытываемого участка жилы. Следует также отметить, что радиальный градиент температуры существует в результате охлаждения поверхности, которая охлаждается за счёт контакта с окружающим воздухом. На рис. 2 показано изменение этого влияния со временем.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ

С учётом вышеизложенного измерительное оборудование серии 8130 приводит температуру всех элементов, контактирующих с жилой или вблизи неё, к одному и тому же значению температуры, измеренной температурным датчиком. В результате создается изотермальный контур, в котором температура после короткой переходной фазы остается стабильной, за исключением очень слабого и контролируемого смещения. Зажимные устройства, закрывающий жилу кожух и измерительная головка, на которой располагаются контакты для испытания напряжением – все они оснащены нагревательными элементами и температурными датчиками, и температура каждого нагревательного элемента регулируется отдельно.

На рис. 3 показано изменение температуры в зависимости от времени для этой новой системы с терморегулированием.

Экономия времени – не единственное преимущество новой системы. Точность контактных методов при измерении температуры твердого тела обычно подвергается сомнению из-за наличия теплопередачи между измеряемым участком и датчиком (рис. 4).

Но в системе, в которой температура стабилизирована, этот поток тепла и результирующая ошибка измерения будут ничтожно малы, поскольку градиент температуры между измеряемым участком жилы, датчиком и окружающей средой будет устранён (рис. 5).

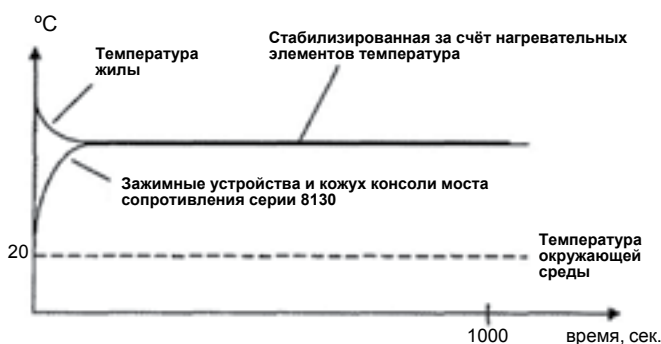
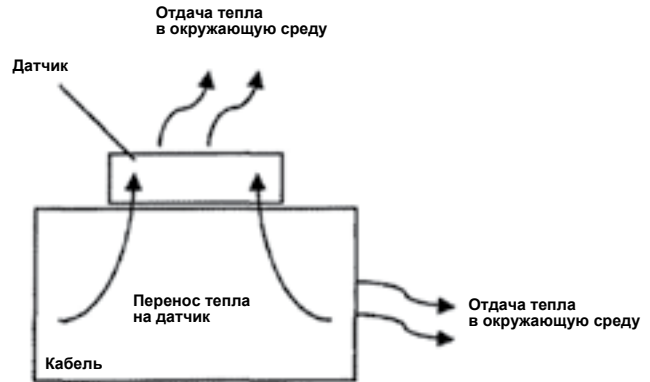
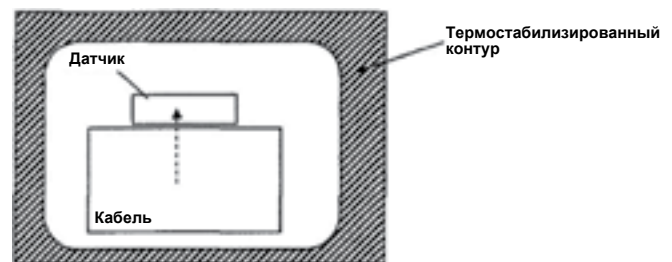


Рис. 3. Стабилизация температуры в зависимости от времени



Перманентное состояние: количество тепла, передаваемое от кабеля датчику, равно количеству тепла, отдаваемого датчиком в окружающую среду

Рис. 4. Неточность результатов измерения, обусловленных теплопередачей между измеряемым участком жилы кабеля и температурным датчиком



Начальное состояние: передача незначительного количества тепла от кабеля датчику для выхода в режим нагрева
Перманентное состояние: теплопередача отсутствует, т.к. все элементы имеют одинаковую температуру

Рис. 5. Пренебрежимо малое количество теплопередачи в системе с термостабилизированным контуром

Преимущество, выраженное в получении более высокой точности за счёт использования новой измерительной системы с термостабилизированным контуром, можно оценить, если вспомнить, что ошибка в 1 °C в показании температуры соответствует ошибке 0,4 % по сопротивлению.

Производитель кабеля может сам оценить выгоду от сокращения материальных затрат компании, ранее шедших на покупку сырья, получение которой стало возможным в результате повышения точности.

Факт реальной экономии средств за счёт оптимизации потребления сырьевых материалов находит своё подтверждение в ходе эксплуатации измерительного оборудования AESA на всех кабельных заводах как за рубежом, так и в России.