

**Энергосберегающие технологии контактов электрических аппаратов
в энергетическом строительстве**

Каюмов С. Н., Хакимов С. Х.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассмотрены электрические контакты, применяемые в энергетических системах и сетях электрических подвижных составах железнодорожного транспорта, с учетом режимов работы и тяговой характеристики тягового электрического двигателя. Приведены основные виды контактов и материалы, используемые для изготовления контактов, работающие в электрических и электронных аппаратах ЭПС.

Контактами в аппаратах называют токоведущие детали, при соприкосновении которых в процессе работы аппарата замыкается электрическая цепь. Контакты аппаратов, используемые для замыкания и размыкания цепи без тока, обычно называют разъединяющими или размыкающими.

В аппаратах, кроме того, имеются разъемные контактные соединения, которые в процессе работы аппаратов не размыкаются, а служат только для отсоединения части или всего аппарата при замене или ремонте. Такие соединения осуществляют посредством зажимов (болтов, гаек и т. п.) и поэтому их называют контактными зажимами.

Контактные соединения, осуществляемые пайкой, называют неразъемными. В месте соприкосновения контактов возникают дополнительное контактное сопротивление r_k и потери P_n энергии. Эти потери в основном и определяют нагрев контактов [1].

Физическая природа контактного сопротивления выявляется при рассмотрении места соприкосновения контактов, изображенного с большой степенью увеличения. Независимо от качества обработки рабочих поверхностей контактов они имеют микронеровности, в результате чего контакты соприкасаются между собой не по всей поверхности, а в ограниченном количестве точек [2]. При увеличении нажатия контактов микроскопические выступы в точках соприкосновения деформируются, укорачиваются, а площадь и количество точек соприкосновения – увеличиваются, что приводит к уменьшению контактного сопротивления. Эта зависимость подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Электрическое сопротивление контактов обратно пропорционально контактному нажатию и не зависит от площади их соприкосновения. Этим объясняется преимущественное применение линейных и точечных контак-

тов, при которых большое удельное нажатие способствует лучшей очистке поверхности контактов от окиси.

Несмотря на большое разнообразие геометрических форм контактов тяговых аппаратов, их можно разделить в зависимости от вида контактной поверхности в месте электрического контакта на три разновидности, условно называемые поверхностными, линейными и точечными. На рис. 1 показано некоторые разновидности контактов.

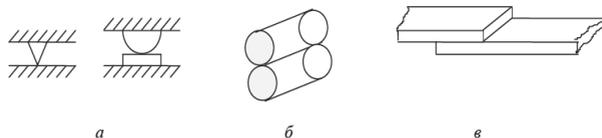


Рис. 1. Разновидности контактов:
a – точечный; *б* – линейный; *в* – поверхностный

Поверхностный контакт образуется путем соприкосновения двух плоских поверхностей. Поверхностные контакты допускают без повреждения очень большие нажатия, благодаря чему контактное сопротивление снижается до минимума. В частности, поэтому их используют в некоторых мощных автоматических выключателях.

Линейный контакт образуют токоведущие детали, касающиеся по линии. Фактически контактная поверхность представляет узкую прямоугольную полоску. В таких контактах создаются высокие удельные нажатия и поэтому легко обеспечить смятие окисленных контактных выступов и получить относительно низкое контактное сопротивление при сравнительно небольших нажатиях. Линейные контакты применяют в большинстве тяговых аппаратов.

Точечный контакт. Соприкасающиеся две поверхности сферической формы образуют точечный контакт, который вследствие смятия металла контактов практически имеет форму небольшого кружка. Точечные контакты обеспечивают высокие удельные нажатия и малое контактное сопротивление даже в случае очень небольшого нажатия. Поэтому точечные контакты особенно широко используют в аппаратах, где сила нажатия мала (реле, блокировочные контакты) [3].

Контактные материалы. Основные необходимые свойства контактного материала – высокая электрическая проводимость и дугостойкость – не могут быть получены за счет сплавов таких материалов, как серебро и вольфрам, медь и вольфрам.

Серебро. Положительные свойства: высокие электро- и теплопроводность, пленка окисла серебра имеет малую механическую прочность и

быстро разрушается при нагреве контактной точки [2]. Контакт серебра устойчив, благодаря малой механической прочности достаточны малые нажатия (применяется при нажатиях 0,05 Н и выше). Устойчивость контакта, малое переходное сопротивление являются характерными свойствами серебра.

Отрицательные свойства: малая дугостойкость и недостаточная твердость серебра препятствуют использованию его при наличии мощной дуги и при частых включениях и отключениях.

Применяется в реле и контакторах при токах до 20 А. При больших токах вплоть до 10 кА серебро используется как материал для главных контактов, работающих без дуги.

Алюминий. Этот материал имеет достаточно высокие электрическую проводимость и теплопроводность. Благодаря малой плотности токоведущая часть круглого сечения из алюминия на такой же ток, как и медный проводник, имеет почти на 48 % меньшую массу. Это позволяет уменьшить массу аппарата.

Недостатки алюминия:

1) образование на воздухе и в активных средах пленок с высокой механической прочностью и высоким сопротивлением;

2) низкая дугостойкость (температура плавления значительно меньше, чем у меди и серебра);

3) малая механическая прочность;

4) при контакте с медью образуется пара, подверженная сильной электрохимической коррозии.

В связи с этим при соединении с медью алюминий должен покрываться тонким слоем меди электролитическим путем либо оба металла необходимо покрывать серебром.

Алюминий и его сплавы (дюраль, силумин) применяются главным образом как материал для шин и конструктивных деталей аппаратов.

Вольфрам. Положительными свойствами вольфрама являются высокая дугостойкость, большая стойкость против эрозии, сваривания. Высокая твердость вольфрама позволяет применять его при частых включениях и отключениях.

Недостатками вольфрама являются высокое удельное сопротивление, малая теплопроводность, образование прочных оксидных и сульфидных пленок. В связи с высокой механической прочностью и образованием пленок вольфрамовые контакты требуют большого нажатия.

В электромагнитных реле на малые токи с небольшим нажатием применяются стойкие против коррозии материалы – золото, платина, палладий и их сплавы

Металлокерамические материалы. Рассмотрение свойств чистых металлов показывает, что ни один из них не удовлетворяет полностью всем требованиям, предъявляемым к разрывным контактам. Для контактов аппаратов высокого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А60, КМК-Л61, КМК-Б20, КМК-Б21 [4].

В аппаратах низкого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А10 из серебра и окиси кадмия CdO . Отличительной особенностью этого материала является диссоциация CdO на пары кадмия и кислород. Выделяющийся газ заставляет дугу быстро перемещаться по поверхности контакта, что значительно снижает температуру контакта и способствует деионизации дуги.

Металлокерамика, состоящая из серебра и 10 % окиси меди, КМК-А20 еще более стойка к износу, чем КМК-А10.

Серебряно-никелевые контакты хорошо обрабатываются, обладают высокой стойкостью против электрического износа. Контакты дают низкое и устойчивое в эксплуатации переходное сопротивление. Однако они легче свариваются, чем контакты из материала КМК-А60, КМК-Б20, КМК-А10. На рис. 2 показано некоторые конструкции контактов.

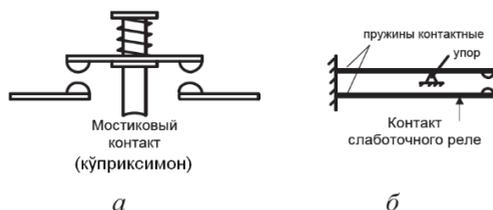


Рис. 2. Конструкции контактов:

a – мостиковый контакт; *б* – контакт слаботочного реле

При работе аппарата в его токоведущей цепи, изоляции и деталях конструкции возникают потери электрической энергии, которые превращаются в тепло. Тепловая энергия частично расходуется на повышение температуры аппарата и частично отдается в окружающую среду.

При увеличении температуры происходит ускоренное старение изоляции проводников и уменьшение их механической прочности. Так, например, если при данной допустимой длительной температуре, срок службы изоляции проводников сокращается (при длительной работе и возрастании температуры всего лишь на 8 °С, срок службы сокращается в 2 раза). При увеличении температуры меди со 100 до 250 °С, механическая прочность снижается на 40 %. Следует иметь в виду, что при коротком замыкании,

когда температура может достигать предельных значений (200–300 °С), токоведущие части подвержены воздействию больших электродинамических сил.

Работа контактных соединений также сильно зависит от температуры.

Нагрев токоведущих частей и изоляции аппарата в значительной степени определяет его надежность. Поэтому во всех возможных режимах работы температура частей аппарата не должна превосходить таких значений, при которых обеспечивается его длительная надежная работа. В аппаратах постоянного тока нагрев происходит только за счет потерь в активном сопротивлении токоведущей цепи.

Для однородного проводника сопротивление R , зная свойства материала, длину и сечение проводника, легко найти.

При переменном токе активное сопротивление проводника отличается от сопротивления при постоянном токе из-за возникновения поверхностного эффекта и эффекта близости.

В аппаратах переменного тока высокого напряжения, помимо потерь в проводниковых и ферромагнитных материалах, необходимо учитывать потери, возникающие в изоляции. Эти потери определяются формулой

$$P = 2\pi f C U^2 \operatorname{tg} \alpha,$$

где $f = 50$ Гц частота сети; C – емкость изоляции; U – действующее значение напряжения на изоляции; $\operatorname{tg} \alpha$ тангенс угла диэлектрических потерь.

Изоляция аппарата нагревается как за счет потерь в токоведущей цепи, так и за счет потерь в диэлектрике.

Способы передачи тепла внутри нагретых тел и с их поверхности:

Различают три вида теплообмена: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность. Теплопроводностью называется процесс распространения тепла между непосредственно соприкасающимися частицами, обусловленный тепловым движением молекул или атомов вещества, а в металлах – свободных электронов.

Влияние контактного сопротивления на производительность устройств становится все более заметным по мере масштабирования устройств до наноуровня. Эта реальность требует от ученых-материаловедов повышенной изобретательности для управления межфазными реакциями и проектирования интерфейса. Судя по темпам, с которыми новые материалы и процессы проникают в микроэлектронную и наноэлектронную промыш-

ленность, прогноз поиска решений для смягчения этих проблем довольно хороший.

Литература

1. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.
2. Заболотный, Н. Г. Электрические аппараты электровозов постоянного и переменного тока / Н. Г. Заболотный. – М.: Маршрут, 2005. – 36 с.
3. Ривкин, Г. А. Преобразовательное устройство / Г. А. Ривкин. – М: Энергия, 1970. – 544 с.
4. Розанов, Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники / Ю. К. Розанов. – М: Энергия. 1979. – 392 с.

УДК 627.82:628.16.067

Теоретические и экспериментальные исследования неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах

Файзиев Х., Рахимов Ш. А., Жураев К. Т.

Ташкентский архитектурно-строительный институт
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах при снижении уровня воды в водохранилище. Даны результаты решения данной нестационарной задачи методом конечных разностей и их сравнение с экспериментальными методами.

С точки зрения устойчивости плотин из малопроницаемых грунтов наибольшую опасность представляют обводненные откосы верховых упорных призм грунтовых плотин в случаях быстрого снижения (сработки) горизонта воды верхнего бьефа. В практике эксплуатации водохранилищных гидроузлов такие случаи нередки и, как правило, вызываются условиями неравномерной загрузки ГЭС, периодическим забором воды в деривационные системы, предупредковой сработкой водохранилища, различными аварийными ситуациями и т. п.

Указанные обстоятельства приводят в плотинах рассматриваемого вида к существенному отставанию депрессионной поверхности фильтрационного потока от уровня воды верхнего бьефа и как следствие, к появлению опасных гидродинамических давлений воды, направленных в верховых упорных призмах в сторону водохранилища, неучет которых в расчете может привести к нарушению устойчивости откосов.