

лидером и крупнейшим поставщиком спутников на мировой рынок является Франция. Данный проект помог бы выйти нашей стране на качественно новый уровень в этой отрасли. Возможность посчитать динамические показатели различных электромеханических систем космических аппаратов, безусловно, помогут инженерам устранить конструктивные недостатки и внести необходимые поправки. Кроме того, данная разработка будет полезна коммерческим и государственным организациям и предприятиям, которые работают с разного рода электромеханическим оборудованием и мехатронными модулями. Внесение даже незначительных коррективов в такие устройства приведет к значительному повышению ресурсоэффективности на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неофициальный сайт программы ANSOFT Maxwell [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ansoft-maxwell.narod.ru/>
2. Пат. 2006142 РФ. Н 02 К 19/06. Синхронный двигатель с электромагнитной редукцией частоты вращения / К.Г. Новоселов, Е.Б. Баталов; Оpubл. 1986.
3. RMXprt. Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cae-expert.ru/product/rmxprt>
4. Леонов С.В. Федянин А.Л. Муравлев О.П. Статическая модель герметичного синхронного двигателя дискового типа с магнитосвязанными полюсами. Известия ТПУ Выпуск № 4 / том 312 / 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

Елшибек А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Силовые масляные трансформаторы являются важнейшими элементами электротехнических установок, от качества и надёжности функционирования которых зависит качество распределяемой электрической энергии. Выход из строя трансформатора приводит к высоким техническим и экономическим затратам в процессе эксплуатации.

Примером современного подхода к проектированию новых серий трансформаторов может служить принятие новых расчетных и конструктивных решений, позволяющих улучшить изоляцию трансформатора, существенно уменьшить потери холостого хода, повысить электродинамическую стойкость обмоток и модернизировать системы охлаждения трансформаторов.

При этом приходится учитывать, что в современных условиях рыночной конкуренции и мониторинга окружающей среды к трансформаторам, как новейших конструктивных исполнений, так и к модифицируемым, существенно повысились требования по энерго- и ресурсосбережению, пожаро- и взрывобезопасности, экологичности, конкурентоспособности.

Ведущими трансформаторостроительными фирмами и научно-исследовательскими электротехническими организациями мира, в том числе России и стран СНГ разработан обширный арсенал электротехнических материалов, технических решений,

технологических процессов, конструктивных исполнений для совершенствования как модернизируемых трансформаторов, так и в трансформаторах новых конструктивных исполнений. Причем эти инновации относятся ко всем компонентам трансформаторного устройства, начиная от магнитной системы и заканчивая системами мониторинга и шумоподавления [2].

Анализ основных показателей новых технических решений и новых конструктивных исполнений трансформаторов показал, что их совершенствование идет по направлениям снижения потерь, расхода электротехнических материалов, повышения надежности и экологичности [3].

На основе быстро закаленных сплавов реально применение электротехнических сталей из аморфных и микрокристаллических сплавов, которые созданы для работы с высокой индукцией насыщения в низкочастотной области.

Одним из преимуществ аморфных сплавов является возможность получения различных магнитных свойств за счет формирования наведенной магнитной анизотропии после охлаждения в магнитном поле, что позволяет получить аморфную ленту с анизотропным или изотропным распределением намагниченности и с формированием оси анизотропии в любом заданном направлении. Толщина аморфной ленты на порядок меньше толщины ленты анизотропной электротехнической стали, а в состав сплава входят железо, никель, кобальт, титан, магний, кремний и др. Это наряду с высоким электрическим сопротивлением уменьшает долю потерь от вихревых токов $P_{1,7/50}$ до 10% [1].

Ведущими фирмами (General Electric, ABB и др.) России, Японии и США освоен выпуск трансформаторов с магнитными системами из аморфных сплавов. Несмотря на более высокую (на 25-30%) стоимость таких трансформаторов, они рентабельны из-за существенного (до 70%) снижения потерь холостого хода. Для преодоления технологических недостатков аморфных сталей, обусловленных их малой толщиной, чувствительностью к механическим воздействиям, хрупкостью, используются стали с различной индукцией насыщения, комбинации слоев аморфной стали и АЭС и другие технические решения.

Маслонаполненные трансформаторы пожаро- и экологически опасны, масло подвержено старению и не способствует снижению уровня шума, но такие трансформаторы значительно дешевле и рентабельнее там. Повышение требований экологичности, пожаро- и взрывобезопасности трансформаторов привело к разработке ряда типов жидких диэлектриков: кремнийорганических жидкостей, синтетических эфиров, высокотемпературных углеводородных масел и других жидкостей, которыми заменяют минеральное масло. Широко применяются кремнийорганическая жидкость полидиметилсилоксан, которая устойчива к старению, практически не ядовита, хорошо разлагается в воде, воздухе, почве и не создает вредных для здоровья соединений [4].

Основной причиной выбора алюминиевых обмоток является их низкая начальная стоимость. Стоимость меди исторически оказалась гораздо более изменчивой, чем стоимость алюминия, так что цена покупки медного проводника в целом является более дорогим выбором. Кроме того, поскольку алюминий имеет большую пластичность и легче поддается сварке, то является более дешевым материалом при производстве. Тем не менее, надежные соединения алюминия требуют больше знаний и опыта со стороны сборщиков силовых трансформаторов, чем это требуется для медных соединений.

Основные беспокойства по поводу выбора материала обмотки отражают пять характерных различий между медью и алюминием.

Таблица 2. Пять характерных различий между медью и алюминием

Параметр	Алюминий	Медь
Коэффициент расширения на $^{\circ}\text{C} \times 10^{-6}$ при 20°C	23	16,6
Теплопроводность БТЕ / фут / ч / БПФ 2 / $^{\circ}\text{F}$ при 20°C	126	222
Электропроводность % при 20°C	61	101
Прочность на разрыв Н/мм ² (мягкая)	28-42	40

Производители трансформаторов ограничивают выбор доступных размеров проводников. Из-за этого некоторые проекты в алюминии могут получить более низкие потери чем в меди просто, потому что ограничен выбор размера провода.

При изменении основных размеров сердечника при переходе от алюминия к меди, получается, так что потери в сердечнике остаются примерно одинаковыми, независимо от обмоточного материала. Если одинаковой эффективности можно добиться путем изменения размеров намоточного провода и основные потери остаются теми же, нет необходимости менять дизайн трансформатора. Разница в стоимости между медью и алюминием часто позволяет обеспечить алюминиевые проводники большего сечения, что приводит к снижению потерь холостого хода при меньших затратах, чем если бы были использованы медные проводники.

Ранее, чтобы обеспечить механическую прочность трансформаторов с алюминиевыми обмотками необходимо было, выполнять обмотки площадью поперечного сечения на 66% больше, чем трансформаторам с медными обмотками. На сегодняшний момент выявлено, что способность трансформаторов противостоять долговременным механическим воздействиям бросков нагрузки больше зависит от соответствующего баланса обмотки и крепления соединительных проводов, чем от выбора проводника [5].

Рассмотренные тенденции развития мирового и отечественного трансформаторостроения обусловили создание мощного научного базиса, новейших электротехнических материалов, технических решений, технологических процессов, которые должны быть использованы для модернизации и совершенствования трансформаторов России, обладающей мощным научно-техническим потенциалом и трансформаторостроительной промышленностью.

Одним из главных направлений решения данной проблемы является опережающее развитие на основе имеющегося мирового научно-технического задела информационного, математического, методического и программного обеспечения автоматизации научных исследований, синтеза, анализа и оптимизации структуры и параметров отечественных трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.dissercat.com/content/obosnovanie-ratsionalnykh-parametrov-energoberegayushchikh-elektromekhanicheskikh-sistem-ok>
2. Сучков Р.В. Модернизация и сервис трансформаторов. Сервисное обслуживание АББ.
3. Кустов С.С. Основные направления развития конструкций трансформаторов I-II габаритов. – Электрические станции. 1995, №8. – С. 62-67.
4. Силовые трансформаторы. Справочная книга. // Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат. 2004. – 616 с.
5. <http://forca.ru/stati/podstancii/alyuminiy-protiv-medi-v-transformatorah.html>