

*Б. Т. Бакубаев, В. И. Денисенко, А. Т. Пластун,
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)*

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОНАДЕЖНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С АСИММЕТРИЧНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ С НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Коллективом кафедры электрических машин УрФУ осуществляется разработка опытного образца асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом (АДАМ) с применением неорганической радиационно - стойкой изоляции по переработке отходов ядерного топлива. Применение двигателей с органической изоляцией в радиационной зоне с высоким уровнем излучения требует частой замены двигателей (срок службы двигателей в этих условиях резко сокращается) и влечет за собой простой основного оборудования.

Применение неорганической (керамической) радиационно - стойкой изоляции в серийных двигателях малой и средней мощности стандартной конструкции является невозможным из-за использования насыпной обмотки, которая характеризуется хаотическим расположением проводников в пазу, значительным изгибом провода, перекрещиванием лобовых частей. Применение керамической изоляции требует использования катушек обмотки статора простейшей формы. Одним из возможных вариантов является применение АДАМ.

Особенности конструкции АДАМ описаны в [1, 2]. Сердечник статора (рис. 1) состоит из шести модулей, число которых равно числу фазных зон. Модуль сердечника статора по длине машины разделен на две равные части с немагнитной прокладкой между ними. Наличие немагнитной прокладки снижает осевую составляющую потока пазового рассеяния. Стяжка сердечника модуля и крепление его половин выполняется с использованием технологических скоб, а также в результате намотки катушки на зубец. Кроме того, стяжка зубцовых наконечников осуществляется с помощью специальных цилиндрических выступов подшипниковых щитов.

Обмотка статора высоконадежного асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом изготавливается из алюминиевого провода и состоит из шести со-



Рис. 1. Статор опытного образца АДАМ, разработанного ЗАО «Уралэлектромаш»

средоточенных катушек с применением керамической радиационно - стойкой изоляции. Каждая катушка имеет форму, подобную катушкам полюсов машин постоянного тока. Прямоугольная форма катушек АДАМ не только обеспечивает относительную простоту их изготовления, но также способствует тому, что наматываемый на них провод подвергается значительно меньшим изгибам

и повреждению изоляции по сравнению с традиционной технологией. Для того чтобы исключить повреждение керамической изоляции и возможность последующего ее «лечения», изгиб проводника должен быть минимально возможным. Для обеспечения определенного

радиуса закругления проводника на торцах сердечников зубцов размещаются щеки с закругленными краями. Щеки могут быть изготовлены на основе оксидных материалов. На поверхности тела зубца и внутренние поверхности ярмовой части сердечника модуля наносится корпусная изоляция, произведенная также с использованием алюмо-фосфатов.

Для обеспечения наилучшего отвода тепла от обмотки и повышения ее влагостойкости все межзубцовое пространство двигателя, а также полости между подшипниковыми щитами и статором, в которых находятся лобовые части, заливаются высоко теплопроводящим компаундом на основе неорганических материалов.

Методика расчета АДМ разработана на основе классической методики электромагнитного расчета асинхронных двигателей общепромышленного исполнения. Особенности конструкции были отражены при расчете магнитной цепи и тока холостого хода АДМ [3, 4], а также при расчете параметров рассеяния обмотки статора [5]. Расчет рабочих характеристик был выполнен на основе Т-образной схемы замещения асинхронной машины [6], которая учитывает изменение величины индукции в зазоре и потерь в стали в режиме нагрузки.

Проведены испытания опытного образца АДМ мощностью 1,5 кВт с синхронной частотой вращения 3000 об/мин в соответствии с ГОСТ. Результаты испытаний в режимах холостого хода и номинальной нагрузки приведены в таблицах 1 и 2.

При изготовлении сердечника статора опытного образца двигателя ЗАО «Уралэлектромаш» был разработан штамп для изготовления листов модулей сердечника статора. Как показала оценка отклонений геометрических размеров модулей после их сборки, стяжки скобами и намотки катушек, из-за гребенки величина стыковых зазоров при стяжке модулей прессующей стальной втулкой превысила величину 0,15 мм, а внутренний диаметр статора после проточки составил величину, равную 0,5 мм. В связи с этим расчеты выполнены для опытного образца с воздушным зазором 0,5 мм и стыковыми зазорами между модулями сердечника статора равными 0,2 мм.

Таблица 1

Реальный холостой ход

| | | | | | | Вт | ,Вт |
|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-----|
| Опытные данные | 219,3 | 3,160 | 362,13 | 115,33 | 246,8 | 206,8 | 40 |
| Расчетные данные | 220,0 | 3,008 | 256,42 | 104,22 | 152,2 | 112,2 | 40 |

Таблица 2

Номинальный режим работы

| | U_n | $I_{ср}$ | P_1 | $\cos \varphi$ | n | | $P_{ст}$ | | | $P_{доб}$ | P_2 | s | кпд |
|----------------|-------|----------|-------|----------------|--------|-----|----------|-----|----|-----------|-------|----|-----|
| | В | А | Вт | | об/мин | Вт | | | | | % | % | |
| Опытные данные | 219 | 6,5 | 2700 | 0,63 | 2490 | 588 | 206,8 | 324 | 40 | 13,5 | 1527 | 17 | 57 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|------|------|------|-----|-------|-----|----|------|------|-----|----|
| Расчетные данные | 220 | 5,1 | 2160 | 0,64 | 2793 | 300 | 112,2 | 124 | 40 | 10,8 | 1572 | 6,9 | 72 |
|------------------|-----|-----|------|------|------|-----|-------|-----|----|------|------|-----|----|

Сравнение показывает, что разработанная методика электромагнитного расчета АДАМ дает удовлетворительные результаты и может быть использована при проектировании асинхронных двигателей такой конструкции. Наличие повышенных значений стыковых зазоров приводит к увеличению эквивалентного рабочего зазора двигателя и ухудшению рабочих характеристики по сравнению с серийными двигателями аналогичной мощности. Повышенное значение потерь холостого хода опытного образца АДАМ обусловлено наличием прессующей стальной втулки, стягивающего по внешнему диаметру сердечник статора. Дополнительные потери имеют две составляющие: в стальном кольце на вихревые токи от основного рабочего магнитного потока; в сердечнике и в стальном кольце от осевого потока рассеяния статора. Как показали расчеты магнитного поля, при наличии стыковых зазоров $\delta_{\text{стыка}} = 0,15$ мм этот поток достигает величины 20 % рабочего потока (максимальное значение индукции в кольце достигает 1,6 Тл). Это является одной из причин дополнительных потерь.

На основе разработанной методики электромагнитного расчета выполнен проект АДАМ с керамической изоляцией. При применении «сквозной» конструкции двигателя, позволяющей выполнить двигатель с воздушным зазором 0,2 - 0,3 мм, и при выполнении стыковых зазоров, не превышающих значения 0,05 мм, рабочие характеристики приближаются к их значениям в серийных машинах. Такие параметры характеристик и зазоров двигателя могут быть обеспечены при изготовлении листов модулей сердечника статора с использованием лазерной резки сборкой модулей на калибровочных стержнях и изготовлением прессующей втулки из немагнитного материала.

Список использованных источников

1. Бакубаев Б. Т. и др. Особенности конструкции опытного образца асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 3-ей междунар. конф. в рамках выставки «Энерго-сбережение, отопление, вентиляция, водоснабжение» (Екатеринбург, 15 - 17 мая 2013 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 164-167.

2. Бакубаев Б. Т. и др. Разработка высоконадежного асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом для особых условий эксплуатации // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых (16– 19 декабря 2014 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2014, С. 73 - 76.

3. Пластун А. Т. и др. Расчет магнитной цепи асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом // Электрические машины и электромашинные системы: сб. науч. трудов. Пермь: Пермский ГТУ, 2003. С. 218 - 224.

4. Денисенко В. И. и др. Расчет тока холостого хода асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом // Электрические машины и электромашинные системы: сб. науч. тр. Пермь, Пермский ГТУ, 2005. С. 98 - 103.

5. Denisenko V. I. etc. Approach to the Leakage Conductance Calculation Method in Asynchronous Motor with Asymmetric Magnetic Core, In Proceedings The 10th International Scientific and Practical Conference Modern Techniques and Technology Tomsk TPU Press, 2004. - p. 72 - 73.

6. Бакубаев Б.Т и др. Разработка асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом с керамической изоляцией // XV междунар. конф. Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты. Труды МКЭЭЭ-2014 (г. Алушта, 21 - 27 сент. 2014 г.) С. 149 - 150.