

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ АМОРФНОГО ЖЕЛЕЗА

Габдрахманова А.А., Мирзаянов Р.Р.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Наряду с централизованным электроснабжением потребителей электроэнергии, перспективным является и децентрализованное, автономное электроснабжение. При автономном электроснабжении потребитель не зависит от линии электропередачи значительной протяженности, а следовательно, и от аварий, которые могут возникнуть на этой линии. Особый интерес представляет применение автономного электроснабжения в отдаленных малонаселенных районах, например в районах крайнего севера Российской Федерации, в связи с большой протяженностью кабельных линий, сложностью ландшафта и малым числом потребителей. Также автономное электроснабжение применяется в качестве резервного на различных объектах, согласно требований правил устройства электроустановок.

Основным в системе автономного электроснабжения (САЭ) является генератор. Для обеспечения экономической рентабельности применения САЭ ее генератор должен обладать максимальными энергетическими показателями, необходимой надежностью при эксплуатации в экстремальных условиях и простотой конструкции. Наиболее полно сегодня представленным требованиям отвечают высокочастотные бесконтактные магнитоэлектрические машины (БММ) [1].

Для достижения максимальных энергетических показателей и минимизации массогабаритных показателей БММ, приходится увеличивать частоту вращения их ротора, что в свою очередь приводит к повышению частоты вырабатываемого ими тока, а следовательно и к увеличению потерь в магнитопроводе, которые определяются в виде [2]:

$$P_{fe} = k_{m\Phi} P_{уд} B^2 m_{fe} \left(\frac{f}{f_{пр}} \right)^{1.3}, \quad (1)$$

где $P_{уд}$ – удельные потери в железе статора; f – частота тока; B – индукция в железе статора; $k_{m\Phi}$ – коэффициент использования магнитного потока; $f_{пр}$ – частота перемagnetизирования.

Известно, что удельные потери в железе статора складываются из потерь на вихревые токи ($P_{вх}$) и гистерезис, ($P_{г}$):

$$P_{уд} = P_{вх} + P_{г}. \quad (2)$$

Удельные потери на гистерезис могут быть определены в виде [3]:

$$P_{г} = \frac{2 f S_f B^2}{\mu}, \text{ при } \xi \leq 1, \quad (3)$$

$$P_{г} = \frac{\sqrt{\pi} f^{1.5} (t) S_f B^2 a}{\sqrt{\mu \rho}}, \text{ при } \xi > 1, \quad (4)$$

где a – толщина листа стали; ρ – удельное электрическое сопротивление стали; μ – магнитная проницаемость стали; S_f – коэффициент формы петли гистерезиса;

$\xi = a / \frac{1}{k_r} \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}}$ – параметр, характеризующий уменьшение потерь в железе статора; k_r – коэффициент уменьшения глубины проникновения магнитного потока.

Удельные потери на вихревые токи:

$$P_{\text{вх}} = \frac{\pi^2 f^2 a B^2}{6\rho}, \text{ при } \xi \leq 1, \quad (5)$$

$$P_{\text{г}} = \frac{\sqrt{\pi} f^{1,5} B^2 a}{2k_R \sqrt{\mu\rho}}, \text{ при } \xi > 1. \quad (6)$$

Одним из способов минимизации потерь в магнитопроводе статора является, как видно из представленных рассуждений, снижение удельных потерь материала, из которого он изготовлен. Одним из материалов, обладающих очень низкими удельными потерями на вихревые токи и гистерезис является аморфное железо (АЖ). АЖ– это вещество с характерным строением, которое близко к структуре расплавленного металла. При этом, АЖ обладает необходимыми магнитными свойствами, но плохо проводит электрический ток, что предотвращает возникновение вихревых токов, поглощающих энергию. Такие сплавы позволяют сократить потери в железе в несколько раз [4].

Плотность аморфного железа на 7–8% ниже плотности электротехнической стали. Однако, индукция насыщения аморфного железа, значительно ниже индукции насыщения электротехнической стали, но в тоже время, благодаря тому, что плотность аморфного железа меньше плотности электротехнической стали, появляется возможность создания магнитопровода из аморфного железа с теми же массовыми характеристиками, что и магнитопроводы из электротехнической стали или магнито–мягкого сплава, с незначительным увеличением габаритных размеров.

На кафедре электромеханики Уфимского государственного авиационного технического университета ведутся исследования по разработке магнитопроводов из аморфного железа, которое производится на Ашинском металлургическом заводе (г. Уфа), рисунок 1.



Рис. 1. Лента аморфного железа

В тоже время, ввиду того, что аморфное железо выпускается в виде ленты толщиной 25–30 мкм, его практическое использование требует разработки новых конструктивных схем магнитопровода статора. В качестве примера на рисунке 2 представлена конструктивная схема магнитопровода из аморфного железа.

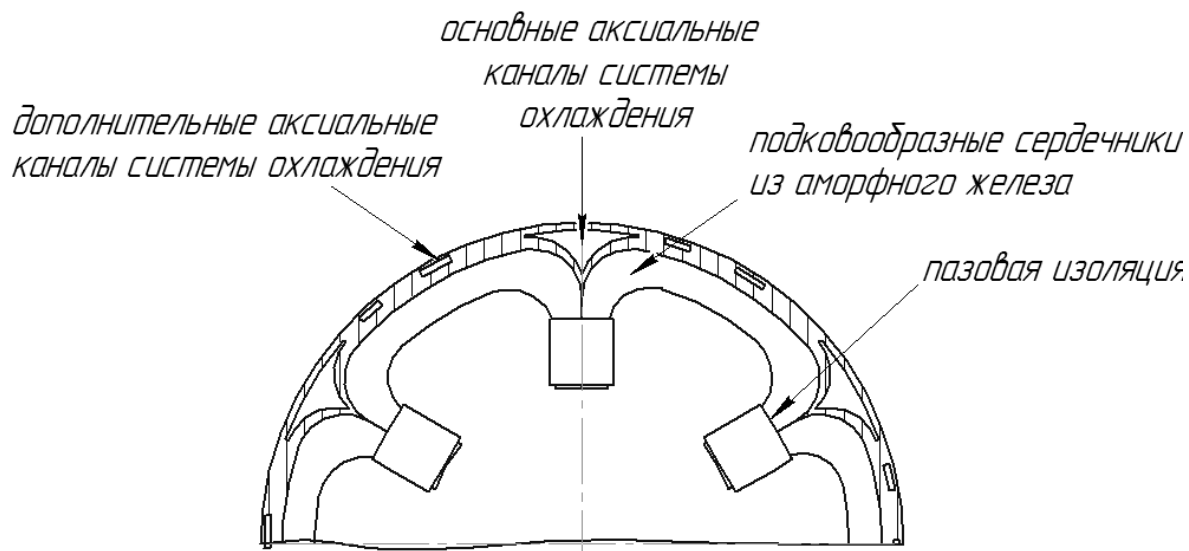


Рис. 2. Конструктивная схема магнитопровода статора из аморфного железа

Представленная на рисунке 2 конструктивная схема состоит из n -подковообразных сердечников набранных из ленты аморфного железа, установленных в диэлектрическом остова и образующих пазы и зубцы магнитопровода статора, обмотку, уложенную в пазах статора, при этом диэлектрический остов выполнен в виде рубашки охлаждения с аксиальными трубками, форма которых профилирует форму пространства между подковообразными сердечниками, а по периметру диэлектрического остова введены дополнительные каналы охлаждения, причем по всей осевой длине боковых поверхностей пазов установлена система из охлаждающих трубок, одна из поверхностей которой плотно прилегает к обмотке, а другая к зубцу, дно пазов с уложенной в них обмоткой и трубками охлаждения залиты неэлектропроводящим, немагнитным материалом с высокой теплопроводностью, а внутренняя поверхность пазов залита неэлектропроводящим, немагнитным материалом с низкой теплопроводностью, таким образом, что внутренняя поверхность статора гладкая.

К достоинствам представленной конструктивной схемы магнитопровода статора относится то, что система охлаждения располагается в каналах, образуемых при сборки магнитопровода из подковообразных сердечников аморфного железа, что позволит минимизировать диаметральные габаритные размеры, кроме того подобное изготовление магнитопровода статора позволяет минимизировать отходы при производстве, а следовательно повысить экономическую эффективность генератора.

При этом изготовление из n -подковообразных сердечников из аморфного железа может быть осуществлено намоткой тонкой ленты на специализированный остов, рисунок 3, с последующим открытием пазов.

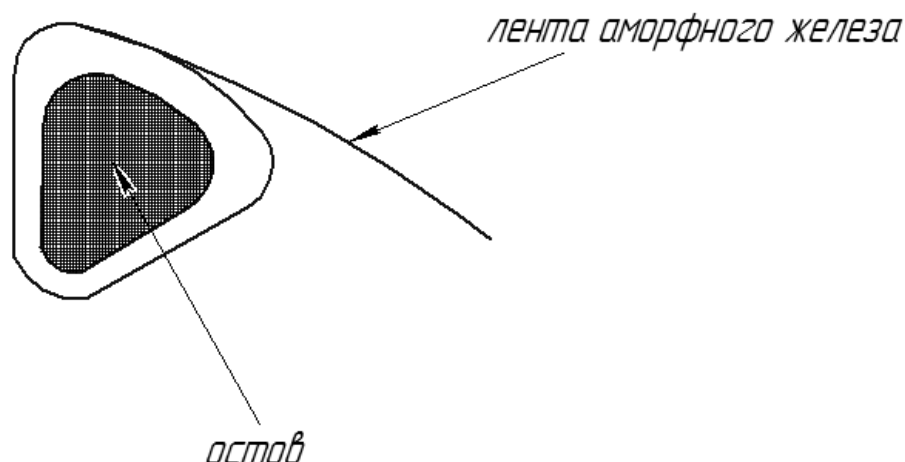


Рис. 3. Изготовление магнитопровода с закрытыми пазами из аморфного железа

Использование магнитопроводов из аморфного железа позволит сократить потери в стали в несколько раз, а так же увеличить коэффициент полезного действия приблизительно на 2%, что является значимыми показателями, как в экономическом, так и в техническом плане.

Полученные результаты могут быть использованы на практике при проектировании высокочастотных электромеханических преобразователей энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балагуров В. А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока.-М.: Высш. школа, 1982. 272 с.
2. Насыпная Е. П., Подход к расчету удельных потерь в электротехнических сталях // Труды Одесского политехнического университета. сер. Энергетика. Теплотехника. Электротехника. 2010. Т. 1(33). № 2(34). С. 116–123
3. Vavilov V., Gerasin A., Ismagilov F., Khayrullin I. An Algorithm for Controlling Hybrid Magnetic Bearings Using the Magnetic Field Pattern // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2013. Vol. 52. №. 5. pp. 794–799.
4. Аморфные и нанокристаллические магнитомягкие сплавы [<http://www.mstator.ru/products/amorf>].

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПОВЫШЕННОЙ ЖИВУЧЕСТЬЮ

Иванов К.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Понятие живучести электропривода относится к разделу электромеханике, а именно к устройствам для регулирования числа оборотов электродвигателя и может быть использовано в широко регулируемых асинхронных электроприводах с повышенной живучестью при однократных или множественных отказах. Применяется в различных отраслях промышленности, таких как: военная техника, химическая промышленность металлургия, ядерная промышленность.

Задачей данной модели является обеспечение управления с повышенной живучестью *n*-секционного трехфазного асинхронного электропривода в случае