



УДК 621.313.8

ЧУМАК В.В., канд. техн. наук,
МОНАХОВ Е.А., инженер,
НТУ Украины "Киевский политехнический ин-т"

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОПОЛЮСНОЙ ТОРЦЕВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ



ЧУМАК В.В.



МОНАХОВ Е.А.

В данной статье рассмотрен торцевой магнитоэлектрический генератор, как возможная конструкция генератора для погружной малой гидроэлектростанции. Разработана трехмерная полевая модель магнитоэлектрического генератора. Приведены кривые напряжений и токов при нагрузке. По результатам расчета и моделирования был изготовлен и испытан торцевой синхронный генератор. Предложен ряд позиций, позволяющих сократить вычислительные ресурсы и последующую обработку результатов.

Введение. В последнее время в связи с увеличением тарифов и попытками децентрализации энергетической системы, возникло такое направление как малая гидроэнергетика, которая представляет собой автономные источники питания для удовлетворения собственных нужд. Существует целый ряд самых разнообразных конструкций гидротурбин для малой гидроэнергетики. Среди них пропеллерные, диагональные, радиально – осевые, ковшовые турбины. Но для работы гидроэлектростанции необходим гидрогенератор.

В данной статье предлагается рассмотреть торцевую многополюсную синхронную машину в качестве возможного варианта герметичного малого гидрогенератора. Как известно к автономным источникам выдвигается ряд требований [1, 2]:

- автономность;
- высокая надежность;
- высокие массогабаритные показатели;
- высокий уровень энергетических, экономических, эксплуатационных показателей.

Самым оптимальным типом машин, который отвечает вышеупомянутым требованиям, является класс магнитоэлектрических машин, ввиду отсутствия потерь на возбуждение и контактной системы, что увеличивает КПД и надежность. Также торцевые машины имеют дополнительные преимущества, а именно [1, 2]:

- жесткую и простую технологичную конструкцию;
- малые аксиальные размеры;
- хорошую теплоотдачу.

В данной статье приведен пример анализа прототипа малого гидрогенератора на примере торцевой синхронной электрической машины мощностью 14 Вт [3]. И проведена дальнейшая обработка полученных результатов, которые могут быть основой для разработки и создания экспериментального образца гидрогенератора мощ-

ностью 5 – 15 кВт. На сегодняшний день численное моделирование используется для анализа различных физических, химических и других процессах, в том числе для расчета, уточнения и оптимизации электрических машин. Целью статьи является определение величин напряжений и токов, индуцируемых в обмотке генератора и сравнить результаты моделирования с данными, полученными в ходе экспериментов изготовленного экспериментального образца. Объектом исследования является однофазный магнитоэлектрический синхронный генератор торцевой конструкции. На Рис. 1 представлен эскиз конструкции исследуемой машины.

Математическое моделирование торцевого магнитоэлектрического генератора.

Для трехмерного моделирования необходимы исходные данные, которые можно получить по предварительному расчету. Расчет был проведен по методике [4].

На Рис. 2 показана трехмерная модель исследуемой электрической машины. Конструктивные элементы не отображены, так как они не оказывают значительного влияния на электромагнитные процессы, протекающие в электрической машине.

Исходные данные для моделирования приведены ниже:

Параметр	Значение
Постоянные магниты	NdFeB N38H:

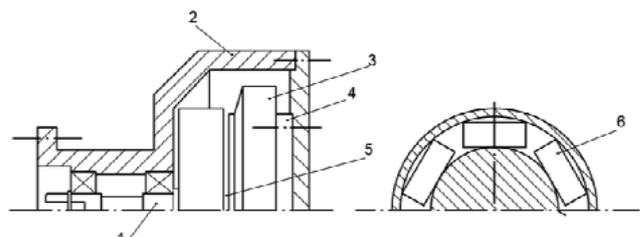


Рис. 1. Эскиз конструкции торцевой электрической машины
1 – вал, 2 – корпус, 3 – обмотка, 4 – статор,
5 – воздушный зазор, 6 – постоянный магнит

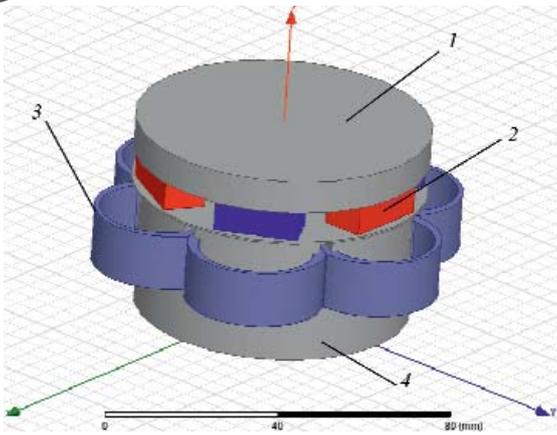


Рис. 2. Трехмерная модель исследуемой электрической машины 1 – ротор, 2 – постоянные магниты, 3 – обмотка, 4 – статор

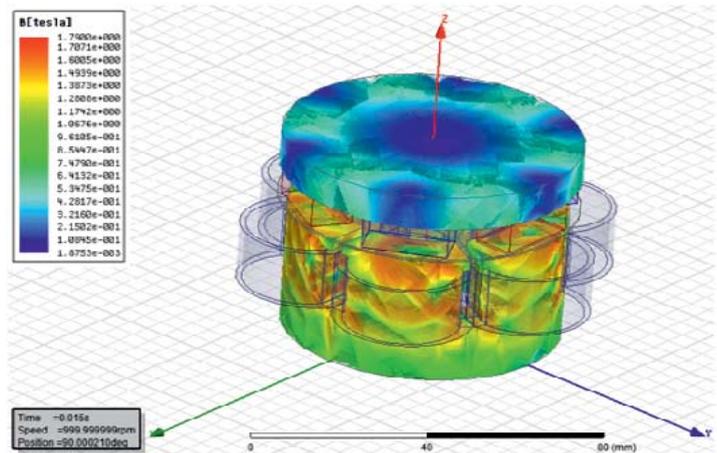


Рис. 3. Распределение индукции в торцевой электрической машине

$$Br = 1,21 \text{ Тл}, Hc = 939$$

Материал ротора	Сталь 3
Материал статора	Сталь 1211
Провод	ПЭТ 155 Ø 0,55 ГОСТ 2112-79
Витков в катушке	110
Частота вращения	1000 об/мин
Количество пар полюсов	6

При расчете магнитного поля использовалось нестационарное нелинейное дифференциальное уравнение для векторного магнитного потенциала (A) в движущейся электропроводной среде [5]:

$$\bar{\nabla} \times \frac{1}{\mu} (\bar{\nabla} \times \vec{A}) - \gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \gamma \vec{V} \times (\bar{\nabla} \times \vec{A}) = -\vec{J}_{\text{стоп}}$$

где μ , γ – магнитная проницаемость и электропроводность; $\bar{\nabla} \times$ – вектора скорости движения среды и сторонней плотности тока; ∇ – дифференциальный набла-оператор.

Для расчета электромагнитного поля в квазистатическом режиме уравнение приобретает следующий вид:

$$\bar{\nabla} \times \frac{1}{\mu} (\bar{\nabla} \times \vec{A}) - \gamma j \omega + \gamma \vec{V} \times (\bar{\nabla} \times \vec{A}) = -\vec{J}_{\text{стоп}}$$

При моделировании приняты следующие до-

пущения:

1. Не учитывались потери от вихревых токов в активных частях электрической машины;
2. Статор выполнен массивный;
3. Обмотка статора представляется массивной, одновитковой (в расчетной области разбивается на W витков).

Граничные условия. На поверхности расчетной области для векторного потенциала задаются однородные граничные условия первого рода:

$$A|_G = 0.$$

На внешних границах расчетной области задаются условия непрерывности векторов поля.

Начальные условия. Начальные условия необходимы при решении нестационарных задач, зависящих от времени. При этом необходимо задать начальные условия – значения полевой функции в середине области в начальный момент времени.

$$A(x, y, z, t)|_{t=0} = -A(x, y, z, 0);$$

Результаты трехмерного моделирования представлены на Рис. 3. Максимальная величина индукции составила 1,79 Тл на кромках пазов статора. Трехмерная модель позволяет оценить эффективность разработанной конструкции, оце-

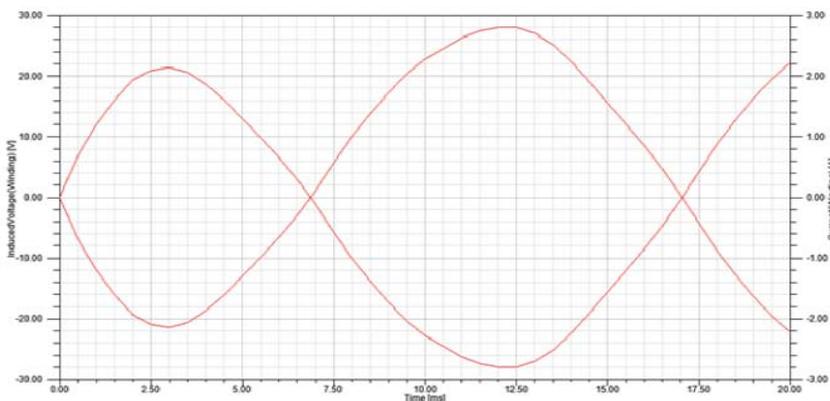


Рис. 4. Кривые напряжений и токов испытываемого генератора

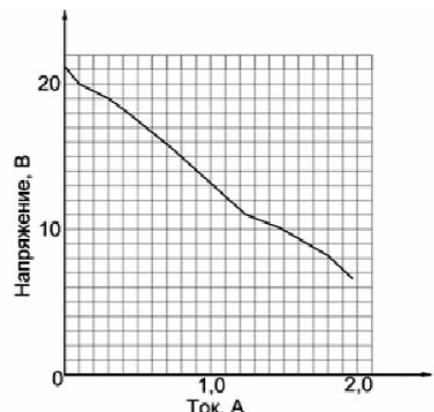


Рис. 5. Внешняя характеристика генератора



нить насколько использованы активные части, а также провести оптимизацию по различным критериям оптимальности, такими как массогабаритные, показатели надежности и проч.

Также специализированное программное обеспечение позволяет получить не только картину распределения индукции в пространстве, но и эксплуатационные показатели, такие как кривые токов, напряжений.

На Рис. 4 показана кривая напряжений и токов по результатам моделирования при нагрузке в 10 Ом.

Как видно из Рис. 4, амплитудное значение тока составляет 2,79 А, а напряжения – 27,93 В. Тогда действующее значение составит 1,97 А и 19,74 В соответственно.

Однако следует заметить, что в реальной машине обмотка распределена по всему пазу. Но для уменьшения вычислительного времени сечение обмотки представлено в виде прямоугольника, причем суммарное сечение реального провода составляет 67,65 мм², а фиктивное сечение составляет 40 мм². Для пересчета токов необходимо воспользоваться следующей методикой.

Известно, что плотность токов будет одинаковой, поэтому исходя из равенства плотностей токов:

$$I_m/q_m = I_p/q_p,$$

где I_m, q_m – ток и сечение проводника при моделировании, I_p, q_p – реальный ток и сечение проводника

Тогда

$$I_p = I_m q_m / q_p = 1,97 \cdot 40 / 67,65 = 1,16 \text{ В.}$$

Аналогичным способом пересчитаем напряжение

$$U_p = U_m q_m / q_p = 19,74 \cdot 40 / 67,65 = 11,67 \text{ В.}$$

Был изготовлен и испытан по результатам моделирования опытный образец. На Рис. 5 представлена внешняя характеристика торцевого генератора.

При нагрузке в 10 Ом, были получены следующие значения: отклонение составило 4,3% для напряжения, и 3,4% для тока.

Вывод.

Численные методы дают высокую степень точности и отображают реальные процессы в электрических машинах разных конструкций и позволяют сократить вычислительные ресурсы и последующую обработку результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паластин Л.М. Синхронные машины автономных источников питания. – М.: Энергия, 1980. – 384с.
2. Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines, Springer, USA. –2008
3. Чумак В.В., Монахов Е.А. Торцевая магнитоэлектрическая машина// Энергия – XXI. – 2014. – №1–2. – С. 140–142.
4. Шишкин В.П. Автоматизированное проектирование торцовых магнитоэлектрических генераторов переменного тока. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2006. – 68 с.
5. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 192 с.

© Чумак, В.В., Монахов Е.А. 2014

