

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОЩНОСТИ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ В СЕРДЕЧНИКЕ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА С АКСИАЛЬНЫМИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ КАНАЛАМИ В ЕГО ЯРМЕ И ЗУБЦАХ

В. И. МИЛЫХ*, С. А. РЕВУЖЕНКО

кафедра электрических машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

* mvikemkpi@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Целью работы является представление приемов и результатов численно-полевого анализа мощности магнитных потерь в турбогенераторе со сложной структурой сердечника статора. Расчетный метод основан на поиске максимумов значений магнитной индукции в зубцах и ярме сердечника посредством перебора множества повторяющихся минисекторов. По распределению этих максимумов определяются их среднеквадратичные значения на указанных участках сердечника в целом, и по ним вычисляются мощности магнитных потерь. Метод позволяет отображать расчетные модели сердечников любой формы и практически не требует упрощения их геометрической структуры. Проведен сравнительный анализ мощности магнитных потерь в режимах холостого хода и номинальной нагрузки для вариантов сердечника при отсутствии и наличии в его ярме и зубцах аксиальных вентиляционных каналов.

Ключевые слова: турбогенератор; сердечник; аксиальные вентиляционные каналы; магнитная индукция; мощность магнитных потерь; численно-полевые расчеты; сравнительный анализ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MAGNETIC LOSSES POWER IN THE STATOR CORE OF A TURBOGENERATOR WITH AXIAL VENTILATION CHANNELS IN ITS YOKE AND TEETH

V. MILYKH*, S. REVUZHENKO

Department of an electrical machines, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

ABSTRACT. The aim of the study is to present the techniques and results of numerical-field analysis of the magnetic losses power in a turbogenerator with a complex structure of the stator core. The computational method is based on the search for the maxima of the magnetic induction values in the teeth and yoke of the core by enumerating a multitude of repeating minisectors. From the distribution of these maxima, its rms values are determined for the indicated regions of the core as a whole, and the magnetic losses powers are calculated from it. The method allows to display the calculated models of cores of any shape and practically does not require simplification of their geometric structure. A comparative analysis of the power of magnetic losses in idling and rated load for the core variants in the absence and presence of axial ventilation channels in its yoke and teeth is carried out.

Keywords: turbogenerator; stator core; axial ventilation channels; magnetic induction; magnetic losses power; numerical-field calculations; comparative analysis.

Введение

При проектировании турбогенераторов (ТГ) [1] для вычисления мощности основных магнитных потерь (МОМП) в стальном сердечнике статора применяется классическая формула:

$$P_{mag} = K_{mag} p_{1,5/50} \left(\frac{f_s}{50} \right)^\zeta K_{ani} \frac{B_m^2}{1,5^2} m_{Fe}, \quad (1)$$

где f_s – частота перемагничивания, Гц; ζ – показатель степени; B_m – амплитуда магнитной индукции (МИ), Тл; $p_{1,5/50}$ – справочные удельные потери, Вт/кг, при МИ 1,5 Тл и частоте 50 Гц; m_{Fe} – масса сердечника, кг; K_{mag} , K_{ani} – коэффициенты учета ряда технологических факторов и анизотропии магнитных свойств холоднокатаной стали, соответственно.

Расчет МОМП производится раздельно для ярма и зубцов сердечника с учетом того, что они ориен-

тированы по направлению и перпендикулярно направлению проката стали, соответственно (для ярма $K_{mag}=1,3$; $K_{ani}=1,1$; для зубцов $K_{mag}=1,5$; $K_{ani}=1$). Для используемой шведской стали А50 $p_{1,5/50}=1,5$ Вт/кг.

В классической системе проектирования ТГ распределение МИ по условно выделяемым однородным участкам магнитопровода находится методом, основанным на теории магнитных цепей. При этом на каждом из них в качестве B_m фигурирует лишь некоторое усредненное значение МИ B_{mid} . Реально же в зубцах и ярмах МИ распределена весьма неравномерно. Ситуация еще усложняется наличием в сердечниках аксиальных вентиляционных каналов (АВК), т.к. учет их реальной структуры методами упомянутой теории не представляется возможным.

Еще одной условностью применения этих методов является то, что расчеты магнитного поля (МП)

и МОМП доступны, как правило, только для режима холостого хода (ХХ), тогда как правильнее было бы это делать для режима нагрузки (РН), на который и проектируется электрическая машина (ЭМ).

Несмотря на длительную историю, работы по совершенствованию методов исследования магнитных потерь продолжают. В [2] и других работах рассматривается общая методология их анализа и расчетов в электротехнических сталях, мягких и аморфных магнитных сплавах и соединениях. Исследования магнитных потерь часто посвящены конкретным ЭМ разных типов [3–6]. Актуальность изучения этих потерь в ЭМ связана с использованием постоянных магнитов (ПМ), новых магнитных материалов и конструкций, повышенных частот и др. Так, в [5] рассматривается синхронная машина с ПМ, в [3] – высокочастотный двигатель с ПМ, а в [6] – еще и с аморфным сердечником статора, в [4] – ЭМ с весьма широким частотным диапазоном. И это далеко не полный перечень изученных публикаций. Работы, посвященные расчетным исследованиям магнитных потерь в сердечниках ЭМ с АВК, практически отсутствуют.

Цель работы

Целью данной работы является представление метода и результатов численно-полевого сравнительно анализа МОМП в сердечнике статора турбогенератора при наличии и отсутствии в нем АВК – и это делается как в режиме ХХ, так и в режиме нагрузки.

Объект исследования

При исследованиях рассмотрен ТГ номинальной мощностью $P_N = 325$ МВт, электромагнитная система которого подробно описана в [7]. Ее поперечное сечение вместе с картиной МП представлено на рис. 1.

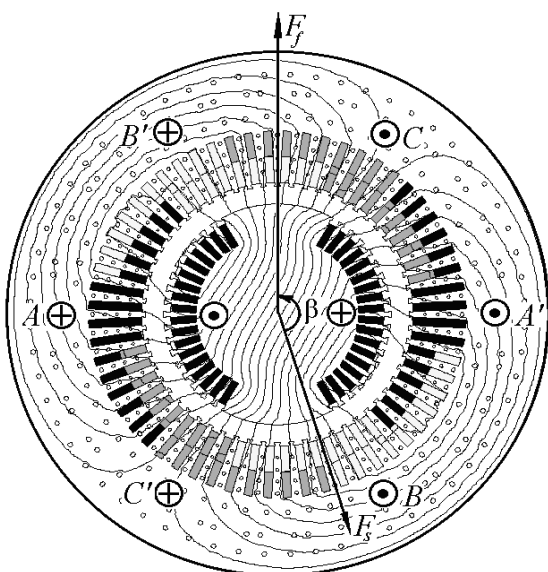


Рис. 1 – Электромагнитная система ТГ с АВК

Заданы номинальные параметры ТГ: фазное напряжение $U_{sN} = 11547$ В и ток $I_{sN} = 11040$ А статора, коэффициент мощности $\cos\varphi_{sN} = 0,85$, частота $f_s = 50$ Гц, ток возбуждения $I_{fN} = 3127$ А. Известны числа фаз $m_s = 3$ и пар полюсов $p = 1$, немагнитный зазор $\delta = 0,09$ м, активная длина статора $l_{as} = 5,715$ м, диаметр его расточки $d_s = 1,3$ м, относительное укорочение обмотки статора – 0,85, число ее параллельных ветвей $a_s = 2$ при числе последовательных витков на фазу $N_s = 10$, число витков обмотки ротора $N_f = 126$.

Основные положения для расчета МП ТГ

Расчеты МП ТГ проводятся на основе метода конечных элементов по программе FEMM [8] с управлением ею созданным скриптом Lua.

В поперечном сечении ТГ (рис. 1) двухмерное МП описывается дифференциальным уравнением [7]:

$$\operatorname{rot} \left[\frac{1}{\mu} \operatorname{rot} (\vec{k} A_z) \right] = \vec{k} J_z, \quad (2)$$

где A_z , J_z – аксиальные составляющие векторного магнитного потенциала (ВМП) и плотности тока; \vec{k} – орт по аксиальной оси z ; μ – абсолютная магнитная проницаемость (для ферромагнитных сердечников определяется по кривым намагничивания сталей).

Для ВМП на внешней поверхности сердечника статора задано граничное условие Дирихле $A_z=0$, ограничивающее дальнейшее распространение МП.

Распределение ВМП дает в прямоугольных координатах составляющие и модуль МИ:

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y}; \quad B_y = -\frac{\partial A_z}{\partial x}; \quad B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}. \quad (3)$$

Для вычисления МИ в шихтованных сердечниках непосредственно в стальных листах учитывается коэффициент заполнения сердечника сталью K_{Fe} .

Расчетные модели ТГ

Для сравнительного анализа рассматриваются расчетная модель ТГ (рис. 1) с АВК круглого сечения в зубцах и ярме статора и модель без АВК (рис. 2), а расчетный анализ проводится в РН и ХХ. Приняты следующие расчетные варианты ТГ и их обозначения: W1 и W2 – ХХ и режим номинальной нагрузки (РНН) без АВК; W3 и W4 – ХХ и РНН – с АВК.

Картина МП для варианта W4 в РНН дана на рис. 1, для варианта W1 в режиме ХХ – на рис. 2. При ХХ рассчитывается МП от действия только обмотки возбуждения, расположенной на роторе. При нагрузке – при одновременном действии обмоток ротора и статора при временном и пространственном сдвиге их МДС F_f и F_s на угол β , как это определено в [7]. Первая направлена по продольной оси ротора, направленная второй соответствует распределению токов в выделенных фазных зонах статора A-A', B-B', C-C'.

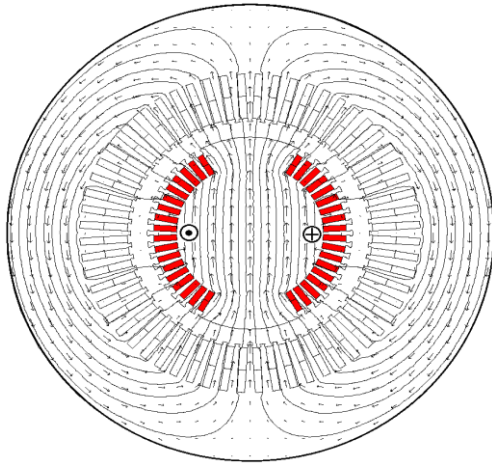


Рис. 2 – Электромагнитная система ТГ без АВК

Метод уточнения расчета МОМП в сердечнике статора на основе распределения максимумов значений магнитной индукции

Предложенный метод заключается в выявлении среднеквадратичных значений максимумов модуля МИ, распределённых по поперечному сечению зубца или выделяемого сектора яра. Эти максимумы ищутся по значениям МИ во множестве родственных минисекторов во всех зубцах или секторах, соответственно. Расчеты распределений МИ во всем ТГ проводятся численно расчетом МП по упомянутой программе FEMM. Основы такого метода даны в [9].

В угловом направлении в сердечнике статора (рис. 3, а) определяются число повторяющихся структур АВК n_c и период их повторения $\alpha_c = 360/n_c$ (в градусах). Между окружностями с радиусами r_{si} и r_{se} выделяется сектор с угловым размером α_c , который расположен между двумя радиальными линиями: первая определяется заданным углом расположения центра одного из каналов α_{vn} , вторая – $\alpha_{vk} = \alpha_{vn} + \alpha_c$.

Выделенный сектор разбивается на кольцевые минисекторы с радиальным и угловым размерами:

$$dr = (r_{sn} - r_{si})/k_r; \quad d\alpha = \alpha_c/k_a, \quad (4)$$

где k_r, k_a – их числа, задаваемые по соответствующим направлениям.

Минисектор с номером 1 в базовом секторе яра приведен на рис. 3, а. Вместе с ним по всем n_c секторам распределено семейство показанных родственных минисекторов (для видимости их размеры чрезмерно увеличены). Для представления реалистичных относительных размеров минисекторов от рис. 3, а по рис. 3, б показан стрелками путь, в конце которого даны обозначения размеров одного из минисекторов. Центр минисектора имеет полярные координаты r, α и связанные с ними прямоугольные координаты:

$$x = -r \cdot \sin \alpha; \quad y = r \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Специальной функцией Lua определяется относительная магнитная проницаемость μ_r в данной точ-

ке. Если $\mu_r > 1$, то минисектор принадлежит сердечнику, если нет, то немагнитному участку внутри АВК. Затем определяются значения координатных составляющих МИ B_x, B_y , и по (3) – модуль МИ B , а также площадь текущего минисектора:

$$dS = \pi r dr d\alpha / 180. \quad (6)$$

Семейству из n_c родственных минисекторов (рис. 3, а) соответствуют угловые координаты $\alpha_k = \alpha + \alpha_c(k-1)$, $k = 1, 2, \dots, n_c$, где угол α берётся по базовому минисектору в главном секторе с номером $k = 1$. Их перебором в цикле ищется соответствующее им максимальное значение МИ B_m .

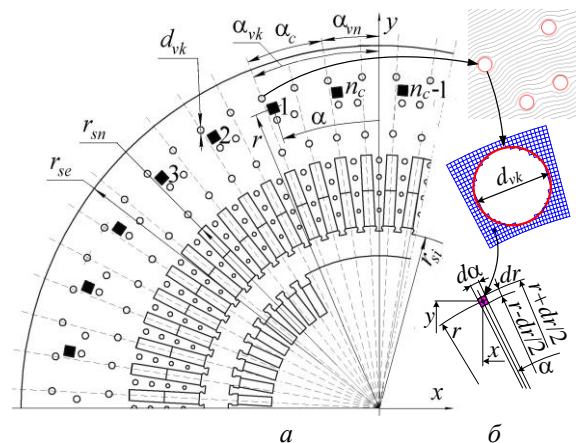


Рис. 3 – Расчетная модель сердечника статора ТГ:

а – семейство родственных минисекторов; б – аппроксимация одного из АВК минисекторами и один из них с обозначением координат и размеров.

В выделенном в яре на рис. 3, а секторе с угловой шириной α_c аналогичные действия проводятся для всего множества минисекторов, перебираемых двойным циклом: j от 1 до k_r и i от 1 до k_a . Их полярные координаты вычисляются по формулам:

$$r = r_{si} + (j - 0,5)dr; \quad \alpha = \alpha_{vn} + (i - 0,5)da. \quad (7)$$

Для минисекторов стальных участков последовательно суммируются квадратичные максимальные значения модуля МИ с учетом площадей минисекторов, начиная с $B_{m2s} = 0$, а именно:

$$B_{m2s} = B_{m2s} + B_m^2 \cdot dS. \quad (8)$$

Накапливается и суммарная площадь минисекторов, начиная с $S_{Fe} = 0$:

$$S_{Fe} = S_{Fe} + dS, \quad (9)$$

Среднее значение максимумов модуля МИ:

$$B_{mav2} = B_{m2s}/S_{Fe}. \quad (10)$$

Именно это значение B_{mav2} и используется вместо B_m в формуле (1) для вычисления МОМП.

Вычисляются также масса яра:

$$m_{Fey} = K_{Fe} S_{Fey} l_a \gamma_{Fe}, \quad (11)$$

где $S_{Fe} = n_c S_{Fe}$ – суммарная площадь в поперечном сечении сердечника по стали; γ_{Fe} – удельная масса стали.

Для зубчатой структуры сердечника статора все делается аналогично – как и для его ярма.

Сравнительный анализ МОМП ТГ

Расчетные исследования МОМП проводились при достаточно большом числе миниэлементов дробления зубцов и ярма статора, обеспечивающем адекватную аппроксимацию АВК в сердечнике статора, как показано, например, на рис. 3, б.

Для каждого расчетного варианта обеспечивались номинальные выходные параметры ТГ путем задания соответствующих параметров его возбуждения: тока ротора I_f и угла β , показанного на рис. 1. Соответствующая методика изложена в [7]. В табл. 1 для всех расчетных вариантов приведены сочетания значений тока возбуждения и угла β .

Таблица 1 – Значения тока возбуждения и угла β для расчетных вариантов ТГ

Величина	Вариант ТГ			
	W1	W2	W3	W4
I_f , А	982	3065	1029	3127
β , град	-	159,98	-	159,27

В табл. 2 проводится сравнение значений разных величин максимумов модуля МИ $B_{max} = \sqrt{B_{max2}}$, а также МОМП в сердечнике для всех расчетных вариантов геометрии сердечника статора ТГ.

Таблица 2 – Сравнение МОМП в зубцах и ярмах при наличии и отсутствии АВК

Вар-т ТГ	Данные зубцов		Данные ярма		Суммарно P_{mag} , кВт
	B_{max} , Тл	P_{mag} , кВт	B_{max} , Тл	P_{mag} , кВт	
W1	1,26	73,5	1,23	219,5	293
W2	1,53	95,2	1,42	288,6	383,8
W3	1,37	73,1	1,33	240,5	313,6
W4	1,56	95,5	1,5	310,7	406,1

Отметим, что МОМП ТГ, рассчитанные на основе теории магнитных цепей, при ХХ составили: в зубцах 136,3 кВт, в ярме – 357,3 кВт. Учесть влияние АВК на МОМП на основе этой теории, как отмечалось, не представляется возможным.

Выводы

1. При переходе от ХХ к РН происходит существенное и примерно одинаковое увеличение МОМП и при отсутствии, и при наличии АВК – на 23-24%.

2. Введение АВК в зубцы сердечника статора приводит к незначительному изменению МОМП в

зубцах ТГ при ХХ, ведь наряду с ростом МИ происходит значительное уменьшение площади активной стали в зоне зубцов. Увеличение МОМП в РН примерно на 5,5% происходит из-за роста среднеквадратичных значений максимумов МИ.

3. Увеличение МОМП при изменении режима работы происходит вследствие соответствующих увеличений максимумов МИ ввиду усложняющейся структуры МП.

4. Предложенный метод расчета МОМП достаточно точно отображает различные геометрические формы сердечников, поэтому является универсальным и не требует упрощений модели магнитной системы ТГ.

Список литературы

- Хуторецкий, Г. М. Проектирование турбогенераторов / Г. М. Хуторецкий, М. И. Токов, Е. В. Толвинская – Л: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
- Banach, A. Specific power loss of typical dynamo steel sheets / A. Banach, W. Mazgaj // Technical Transactions. – 2015. – Vol. 1-E(8). – Pp. 291-299. doi:10.4467/2353737XCT.15.050.3850.
- Gonzalez, A. Magnet losses in inverter-fed two-pole PM machines / A. Gonzalez, J. Millinger, J. Soulard // XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM), IEEE, 4-7 Sept. 2016, Lausanne, Switzerland. – 2016. – Pp. 1854-1860. doi:10.1109/ICELMACH.2016.7732776.
- Kowal, D. Comparison of Iron Loss Models for Electrical Machines With Different Frequency Domain and Time Domain Methods for Excess Loss Prediction / D. Kowal, P. Sergeant, L. Dupré, L. Vandebossche // IEEE Transactions on Magnetics. – Jan. 2015. – Vol. 51. No. 1. – Pp. 1-10. doi:https://doi.org/10.1109/TMAG.2014.2338836
- Leivsdottir, V. Investigation of Loss Calculation Methods for PMSMs and Implementation of Loss Functionality on a Developed FEM Model. Master thesis. NTNU. 2016. Pp. 1-14.
- Wrobel, R. Power Loss Analysis in Thermal Design of Permanent Magnet Machines: A Review / R. Wrobel, P. H. Mellor, M. Popescu, D. A. Staton // IEEE Transactions on Industry Applications. 2016. Vol. 52. No 2. Pp. 1359-1368. doi:10.1109/TIA.2015.2489599.
- Милых, В. И. Методика определения характеристик турбогенератора с использованием автоматизированных численных расчетов магнитных полей. / В. И. Милых, С. А. Ревуженко // Problemele energeticii regionale, 2019, 1-3 (45), с. 1-12. doi:10.5281/zenodo.3239170.
- Meeker, D. Finite Element Method Magnetics. FEMM 4.2 06Sep2007 Self-Installing Executable. Available at: <http://www.femm.info/wiki/oldversions> (accessed 22.05.2018)
- Милых, В. И. Сравнительный численно-полевой анализ мощности магнитных потерь в двигателе постоянного тока / В. И. Милых, С. Е. Дзенис // Технічна електродинаміка. – 2019. – №2. – С. 23-33. doi:10.15407/techned2019.02.023.

References (transliterated)

1. **Hutoretskiy, G. M., M. I. Tokov, E. V. Tolvinskaya.** Proektirovanie turbogeneratorov [The design of turbogenerators]. Leningrad: Energoatomizdat, 1987, 256 p. (Rus)
2. **Banach, A., Banach, A., Mazgaj, W.** Specific power loss of typical dynamo steel sheets. *Technical Transactions*. – 2015. – Vol. 1-E(8). – Pp. 291-299. doi:10.4467/2353737XCT.15.050.3850.
3. **Gonzalez, A., Millinger, J., Soulard, J.** Magnet losses in inverter-fed two-pole PM machines. *XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, IEEE, 4-7 Sept. 2016, Lausanne, Switzerland. – 2016. – Pp. 1854-1860. doi:10.1109/ICELMACH.2016.7732776.
4. **Kowal, D., Sergeant P., Dupré, L., Vandenbossche, L.** Comparison of Iron Loss Models for Electrical Machines With Different Frequency Domain and Time Domain Methods for Excess Loss Prediction. *IEEE Transactions on Magnetics*. – Jan. 2015. – Vol. 51. No. 1. – Pp. 1-10. doi: 10.1109/TMAG.2014.2338836.
5. **Leivsdottir, V.** Investigation of Loss Calculation Methods for PMSMs and Implementation of Loss Functionality on a Developed FEM Model. Master thesis. *NTNU*. 2016. Pp. 1-14.
6. **Wrobel, R., Mellor, P. H., Popescu, M., Staton, D. A.** Power Loss Analysis in Thermal Design of Permanent Magnet Machines: A Review. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2016. Vol. 52. No 2. Pp. 1359-1368. doi:10.1109/TIA.2015.2489599.
7. **Milykh, V. I., Revuzhenko S. A.** Metodika opredeleniya harakteristik turbogeneratora s ispolzovaniem avtomatizirovannykh chislennykh raschetov magnitnykh poley. [The method of determining the turbogenerator characteristics using automated numerical calculations of magnetic fields]. *Problemele energeticii regionale* [Problems of regional energy], 2019, **1-3** (45), pp. 1-12. doi:10.5281/zenodo.3239170.
8. **Meeker, D.** Finite Element Method Magnetics. FEMM 4.2 06Sep2007 Self-Installing Executable. Available at: <http://www.femm.info/wiki/oldversions> (accessed 22.05.2018)
9. **Milykh, V. I., Dzenis, S. E.** Sravnitelnyiy chislenno-polevoy analiz moschnosti magnitnykh poter v dvigatele postoyannogo toka [Comparative numerical-field analysis of power magnetic losses in a dc motor]. *Tekhnichna Elektrodinamika*. 2019, no. 2, pp. 23-33. (Rus.) doi:10.15407/techned2019.02.023

Сведения об авторах (About authors)

Мильх Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры электрических машин; г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0002-6176-3103; e-mail: mvikemkpi@gmail.com.

Vladimir Milykh – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Chair of the Department of Electrical machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6176-3103; e-mail: mvikemkpi@gmail.com.

Ревуженко Светлана Афанасьевна – аспирант кафедры электрических машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0002-4375-2806; e-mail: sveta.revuzhenko@gmail.com.

Svitlana Revuzhenko – Postgraduate Student at the Department of Electrical machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4375-2806; e-mail: sveta.revuzhenko@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Мильх, В. И. Сравнительный анализ мощности магнитных потерь в сердечнике статора турбогенератора с аксиальными вентиляционными каналами в его ярме и зубцах / **В. И. Мильх, С. А. Ревуженко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Электрические машины и электромеханическое преобразование энергии*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 167-171. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.24.

Please cite this article as:

Milykh, V., Revuzhenko, S. Comparative analysis of the magnetic losses power in the stator core of a turbogenerator with axial ventilation channels in its yoke and teeth. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **20** (1345), 167-171, doi:10.20998/2409-9295.2019.20.24.

Будь ласка, посилайте на цю статтю наступним чином:

Міліх, В. І. Порівняльний аналіз потужності магнітних втрат в осерді статора турбогенератора з аксіальними вентиляційними каналами в його ярмі і зубцях / **В. І. Міліх, С. А. Ревуженко** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії"*. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 167-171. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.24.

АНОТАЦІЯ Метою роботи є представлення прийомів і результатів чисельно-польового аналізу потужності магнітних втрат в турбогенераторі зі складною структурою осердя статора. Розрахунковий метод заснований на пошуку максимумів значень магнітної індукції в зубцях і ярмі осердя за допомогою перебору безлічі мінісекторів, які повторюються. За розподілом цих максимумів визначаються їх середньоквадратичні значення на зазначених ділянках осердя в цілому, і по ним обчислюються потужності магнітних втрат. Метод дозволяє відображати розрахункові моделі осердь будь-якої форми і практично не вимагає спрощення їх геометричної структури. Проведено порівняльний аналіз потужності магнітних втрат в режимах неробочого ходу і номінального навантаження для варіантів осердя при відсутності і наявності в його ярмі і зубцях аксіальних вентиляційних каналів.

Ключові слова: турбогенератор; осердя; вентиляційні канали; магнітна індукція; потужність магнітних втрат; чисельно-польові розрахунки; порівняльний аналіз

Надійшла (received) 30.07.2019