

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНА НА ТОРЦЕ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

В.А. Крамарский, канд. техн. наук, **Н.Д. Мышастый**, вед. инж., **А.И. Воронин**, механик
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Представлены результаты расчетной оценки и экспериментального исследования на физической модели эффективности усовершенствованных элементов электромагнитного экрана на торце статора мощного турбогенератора. Показана целесообразность выполнения элементов экрана, расположенных на внутренней цилиндрической поверхности нажимной плиты, удлиненными или смещенными в сторону лобовых частей обмотки. Библ. 3, рис. 3.

Ключевые слова: турбогенератор, электромагнитный экран, магнитная индукция, крайние пакеты сердечника.

В связи с мировой тенденцией возврата к полному воздушному охлаждению мощных турбогенераторов проблема повышенного нагревания крайних пакетов сердечника в торцевой зоне статора турбогенератора (особенно в режимах потребления реактивной мощности) остается актуальной и даже возрастает. Для ее частичного решения применяются специальные меры, которые при этом усложняют конструкцию и соответственно удорожают производство. Так, например, в турбогенераторах с воздушным охлаждением, производимых ОАО «Силовые машины» (Россия) [1], на торце сердечника статора устанавливаются мощные магнитные шунты для канализации магнитных потоков рассеивания. При этом сами шунты непосредственно не участвуют в процессе выработки электрической энергии. Также увеличивается длина сердечника и усложняется технология изготовления сердечника. В то же время эффективность их применения в реальных режимах потребления при росте мощности таких турбогенераторов исследована еще недостаточно. Так как охлаждающая способность воздуха существенно ниже по сравнению с водородом, то в целом уровень нагревания машин с воздушным охлаждением выше, чем машин с водородным охлаждением. Поэтому для его уменьшения важно учесть все возможные технические решения, которым до сих пор уделялось мало внимания.

Одним из способов экранирования торцевой зоны сердечника статора турбогенераторов является пространственное удаление элементов электропроводных экранов, в которых протекают максимальные токи проводимости, от тех областей крайних пакетов сердечника, где осевые магнитные потоки B_z от экранов и обмоток направлены согласно. Такой областью является надпазовая зона крайнего пакета, где магнитный поток от токов проводимости в области внутренней цилиндрической части экрана и нажимной плиты совпадает по направлению с магнитным потоком от обмотки ротора и лобовых частей обмотки статора.

Результаты экспериментального исследования на физической модели торцевой зоны статора турбогенератора мощностью 500 МВт распределения вихревых токов и индукции на поверхности в сегментах крайнего пакета сердечника статора турбогенератора в режиме короткого замыкания приведены в [2]. Например, для вариантов экранирования *a*, *b* (рис. 1) измерения индукции B_z на поверхности крайнего пакета статора в надпазовой зоне показали, что в варианте *b* индукция B_z в надпазовой зоне меньше, чем B_z в этой зоне для варианта *a*. Это можно объяснить тем, что условный центр циркуляционного тока, протекающего через цилиндрическую часть экрана в варианте *b*, смещен в сторону лобовых частей обмотки статора. На рис. 1 обозначено: 1 – пакет сердечника; 2 – нажимная плита; 3 – нажимной палец; 4 – обмотка; 5 – цилиндрическая часть электромагнитного экрана.

По результатам измерений циркулярных токов на натуральных турбогенераторах [3] можно оценить, какую часть от суммарного (результатирующего) магнитного B_z на поверхности крайнего пакета в надпазовой зоне составляет магнитный поток B_z от электропроводного

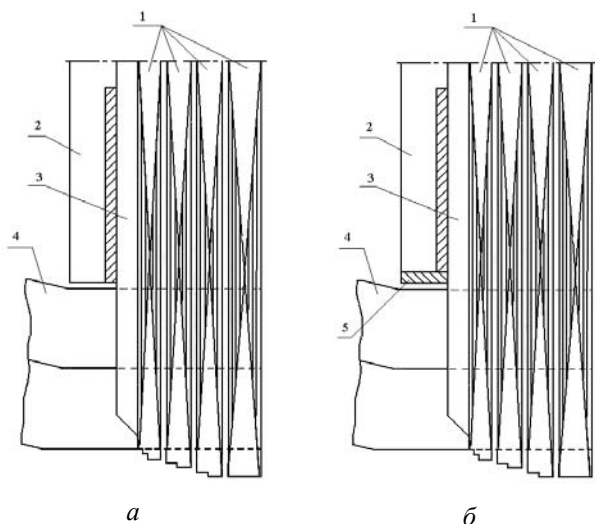


Рис. 1

экрана. Так, измерение с помощью информационно-измерительных преобразователей (модификация пояса Роговского) циркуляционных токов на внутренней цилиндрической кромке электропроводного экрана и нажимного фланца на турбогенераторе мощностью 500 МВт типа ТГВ-500-4 [3] в номинальном режиме позволило установить, что из 12031 А в теле нажимного фланца течет лишь 2400 А, а если электропроводный экран охватывает нажимной фланец со стороны расточки (ТГВ-200-2М, АСТГ-200), то практически весь ток сосредоточен в отогнутой части экрана, разгружая при этом нажимной фланец. В турбогенераторе типа ТГВ-200-2М измеренное значение циркулярного тока, протекающего по

загнутой части электропроводного экрана в режиме КЗ, составило 6700 А.

Учитывая измеренное распределение токов в электропроводном экране и нажимном фланце, для конкретной конструкции нажимного фланца турбогенератора ТГВ-200-М с загнутым экраном можно расположить условный центр суммарного (эквивалентного) тока на расстоянии $\approx 1/3$ толщины нажимного фланца от нажимного пальца и рассчитать величину создаваемой им на поверхности крайнего пакета сердечника в области дна паза величину магнитной индукции B_Z . Толщина нажимного фланца составляет 77 мм, толщина нажимного пальца – 38 мм, т.е. кратчайшее расстояние от центра приложения эквивалентного тока до поверхности надпазовой зоны крайнего пакета статора составляет 64 мм.

По известной формуле электротехники определим величину магнитного поля B_Z от этого тока:

$$B = \frac{\mu \cdot 2I \cdot 10^{-3}}{R}, \quad (1)$$

где $\mu = 1$ – магнитная проницаемость; $I = 6700$ – ток, А; $R = 0,064$ – расстояние до центра тока, м,

$$B = \frac{2 \cdot 1 \cdot 6700 \cdot 10^{-3}}{0,064} = 0,0209 \text{ Тл.}$$

Измеренное значение магнитной индукции B_Z для этого турбогенератора в данной области составило 0,1...0,15 Тл в режиме КЗ. То есть доля B_Z от токов в цилиндрической части электропроводного экрана составила $\approx 20\%$ от суммарной B_Z .

Если удлинить цилиндрическую часть экрана в направлении лобовых частей обмотки так, чтобы условный центр протекающего в нем циркулярного тока отодвинулся от поверхности крайнего пакета сердечника, то соответственно можно уменьшить составляющую суммарной магнитной индукции B_Z в области дна паза и части зубца.

При смещении условного центра циркуляционного тока в цилиндрической части электропроводного экрана, например, на 50 мм в сторону лобовой части обмотки, составляющая сумм индукции B_Z от этого тока на поверхности крайнего пакета составит

$$B_z = \frac{2 \cdot 6700 \cdot 10^{-3}}{0,0114} = 0,012 \text{ Тл.}$$

Таким образом, B_Z уменьшится примерно на 10 %, соответственно уменьшатся вихревые токи и потери в этой области крайнего пакета сердечника.

На физической модели торцевой зоны статора турбогенератора мощностью 500 МВт, показанной на рис. 2, исследована индукция B_Z на поверхности крайнего пакета сердечника в области дна паза для двух вариантов экранирования. На этом рисунке обозначено: 1 – пакеты сердечника; 2 – нажимная плита, 3 – нажимной палец; 4 – обмотка; 5 – цилиндрическая часть электромагнитного экрана.

Размеры цилиндрической части экрана 5 таковы, что расстояние условного центра циркуляционного тока до поверхности крайнего пакета в варианте *a* в три раза меньше, чем в варианте *б*.

На поверхности крайнего пакета сердечника измерялась магнитная индукция в области дна паза. Измерения проводились с помощью медных плоских катушек, прикрепленных на специальных измерительных планках (рис. 3), которые устанавливались под нажимными пальцами. Обмотка модели запитывалась переменным током величиной 100 А частотой 525 Гц.

Измерения магнитной индукции B_z (погрешность не более 1 %) в области дна паза показали, что ее величина в варианте конструкции *б* на 7...10 % ниже, чем в варианте *a*, что косвенно подтвердило результаты приведенных расчетных оценок.

Таким образом, экспериментально показано, что удлинение цилиндрической части электропроводного экрана в направлении лобовых частей обмотки вносит свою часть в снижение электромагнитных потерь в крайних пакетах сердечника. Поэтому элементы электропроводных экранов, расположенные на внутренней цилиндрической части нажимной плиты, целесообразно выполнять удлиненными (или смещенными) в сторону лобовых частей обмотки.

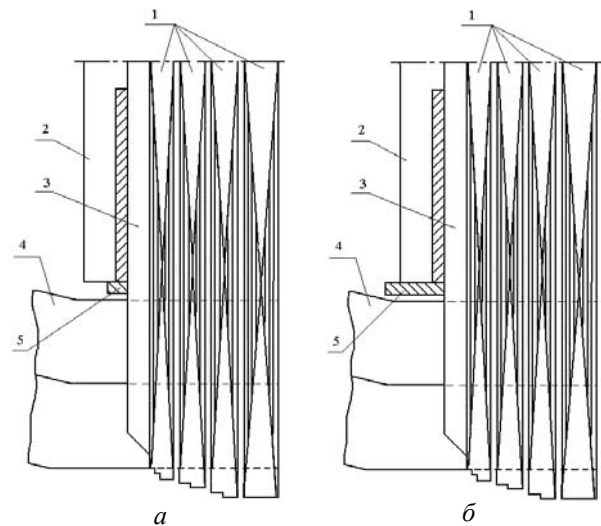


Рис. 2



Рис. 3

1. *Справочник по ремонту турбогенераторов* / Под ред. д.т.н., проф. Х.А. Бекетова, к.т.н., проф. В.В. Барило. – М. ИПК госслужбы, ВИПКэнерго, 2006. – 724 с.
2. *Сморodin В.И.* Экспериментальные исследования и анализ особенностей электромагнитных процессов в торцевых зонах статоров мощных турбогенераторов. – Киев, 1991. – (Препр./ НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 709).
3. *Титко А.И.* Электромагнитное экранирование незамкнутыми структурами в электрических машинах. – К.: Наук. думка, 1994. – 304 с.

УДК 621.313

В.А. Крамарський, канд. техн. наук, **М.Д. Мишастий**, пров. інж., **А.І. Воронін**, механік
 Інститут електродинаміки НАН України,
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Дослідження ефективності елементів електромагнітного екрана на торці статора потужного турбогенератора
Наведено результати розрахункової оцінки і експериментального дослідження на фізичній моделі ефективності вдосконалених елементів електромагнітного екрана на торці статора потужного турбогенератора. Показано доцільність виконання елементів екрана, розташованих на внутрішній циліндричній поверхні натискної плити, подовженими або зміщеними у бік лобових частин обмотки. Бібл. 3, рис. 3.

Ключові слова: турбогенератор, електромагнітний екран, магнітна індукція, крайні пакети осердя.

V.A. Kramarskyi, M.D. Myshastyi, A.I. Voronin

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
 Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

A study on effectiveness of electromagnetic screen elements at the end of the stator powerful turbo-generator
Results of the estimated and experimental research on the physical model of the effectiveness of advanced elements of the electromagnetic screen on the end of the stator powerful turbine generator are presented. Shown appropriateness of making of the screen elements, placed inside the cylindrical surface of the pressure plate, oblongated or deposed towards the frontal parts of the stator winding. References 3, figures 3.

Key words: turbogenerator, electromagnetic screen, magnetic induction, end core packages.

Надійшла 4.07.2013
 Received 4.07.2013