

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТУРБОГЕНЕРАТОРАМ

В. Г. ШУМАХЕР

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Электромагнитное поле рассеяния в области лобовых частей обмотки статора турбогенератора, проникая в детали концевой зоны, приводит к концентрации потерь и к повышенным местным нагревам. В некоторых типах мощных турбогенераторов для защиты нажимного кольца и спинки статора от полей рассеяния применяют медный экран. Экранирующими свойствами обладают также конструктивные детали концевой зоны, в частности, само нажимное кольцо статора.

Точный расчет полей рассеяния, потерь и нагревов в концевой зоне невозможен без учета экранирования.

Поля и экранирование в концевой зоне исследуют на натурных образцах мощных турбогенераторов [1] и на уменьшенных физических моделях генераторов [2]. Как в том, так и в другом случае исследователи измеряют результирующее поле рассеяния, не определяя эффекта экранирования.

Исследование экранирования проведено на макете вращающегося поля, который состоит из двух кольцевых шихтованных пакетов электро-технической стали, расположенных параллельно и соосно (рис. 1).

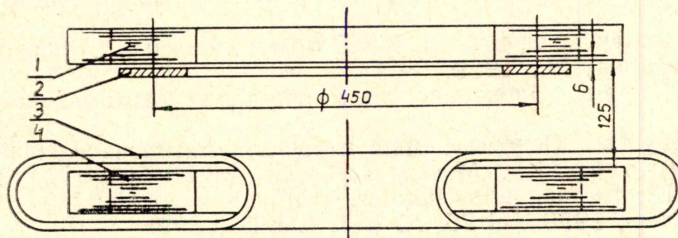


Рис. 1. Эскиз макета вращающегося поля: 1 — пакет спинки, 2 — исследуемый образец, 3 — обмотка индуктора, 4 — пакет индуктора.

Источник поля — индуктор — достаточно удален от второго пакета — спинки с расположенным на ней исследуемым образцом. Трехфазная кольцевая обмотка индуктора создает в пространстве между пакетами (в рабочей зоне макета) вращающееся электромагнитное поле, имеющее синусоидальное распределение индукции по окружности и близкое к равномерному распределению по радиусу. Исследуемые кольцевые об-

разцы средним диаметром $D_{\text{ср}}=450$ мм, шириной $B=80$ мм и толщиной $h=8$ мм изготовлены из меди и немагнитной стали.

Для определения экранирования опыты производятся при отсутствии и при наличии образца в рабочей зоне. Чтобы при этом обеспечить постоянство величины вынуждающего поля, ток индуктора и зазор между пакетами индуктора и спинки во всех опытах поддерживались одинаковыми. Медный образец исследован при частотах 14, 30, 50, 100, 200 и 400 гц, образец из немагнитной стали при 50, 100, 200 и 400 гц. Индукция вынуждающего поля у поверхности спинки во всех опытах была около 160 гс.

В опытах измеряется амплитуда нормальной к плоскости спинки магнитной индукции и ее фаза, как в отдельных точках вдоль радиуса рабочей зоны, так и усредненная по ширине образца. Датчиками являются многовитковые катушки, которые расположены на расстоянии 3 мм от поверхности пакета спинки и от установленного образца. Величина индукции определяется по показаниям лампового вольтметра типа ВЗ-13, фаза — по прибору БИП-5. Среднеквадратичная погрешность относительной индукции не превосходит 3%, фазы — $\pm 8^\circ$. Погрешность измерения в центральной части образца может быть несколько большей.

Экранирование образцов характеризуется следующими параметрами [3]:

W — коэффициент обратного действия;

S — коэффициент экранирования, средний по ширине экрана;

S_0 — коэффициент экранирования в центре экрана.

Коэффициент обратного действия W характеризует увеличение поля на границах экрана. Чем меньше коэффициенты экранирования S и S_0 , тем эффективнее уменьшает экран вынуждающее поле. Коэффициенты W и S_0 определяются как отношение индукций в соответствующих точках рабочей зоны в опытах с образцом и без него, коэффициент S — аналогичное отношение средних индукций по ширине образца.

Макет имитирует торцовую часть спинки статора с расположенным вблизи нее немагнитным экраном или нажимным кольцом. Результаты исследования на макете могут быть использованы для турбогенератора с помощью применения теории моделирования. Известно [4], что условием моделирования величин, характеризующих электромагнитное поле в геометрически подобных системах, является определенная связь масштабов подобия геометрических размеров m_l , частоты m_f , электрической проводимости m_λ и магнитной проницаемости m_μ . В случае немагнитных образцов ($m_\mu=1$).

$$m_l^{-2} = m_f \cdot m_\lambda. \quad (1)$$

Условие моделирования (1) можно видоизменить, используя понятие глубины проникновения поля

$$\frac{1}{m_l} = \sqrt{\frac{f_{\text{мод}} \cdot \lambda_{\text{мод}}}{f_{\text{ориг}} \cdot \lambda_{\text{ориг}}}} = \frac{\delta_{\text{ориг}}}{\delta_{\text{мод}}}, \quad (2)$$

где индексы *мод* относятся к модели, *ориг* к оригиналу. Следовательно, при одинаковых геометрических размерах образцов из различных материалов параметры экранирования зависят только от глубины проникновения поля.

Медный экран или нажимное кольцо турбогенератора можно моделировать на макете образцом из такого же материала с помощью увеличения частоты. Кроме того, имеется возможность моделирования немагнитного нажимного кольца из материала с лучшей удельной проводимостью, например, из меди. При этом отпадает необходимость в высокочастотном источнике питания. Частоту поля при моделировании находят из выражения

$$f_{\text{мод}} = \frac{f_{\text{ориг}}}{m_1^2} \cdot \frac{\lambda_{\text{ориг}}}{\lambda_{\text{мод}}}$$

Исследования с помощью моделирования на макете вращающегося поля отличаются простотой и удобством выполнения экспериментов. Следует отметить, что поле рассеяния в турбогенераторе уменьшается вдоль торцевой поверхности сердечника в радиальном направлении, а в макете поле вдоль радиуса рабочей зоны близко к равномерному. В этом отношении данные об экранировании, полученные на макете, пригодны лишь для качественной оценки экранирования в турбогенераторах.

Результаты исследований

1. Характерные зависимости индукции вдоль радиуса экранирующих образцов (рис. 2) имеют провал в центральной части образца, подъем у границ образца, превышающий вынуждающее поле, и спад за пределами образца. При уменьшении δ глубина и область провала, а также

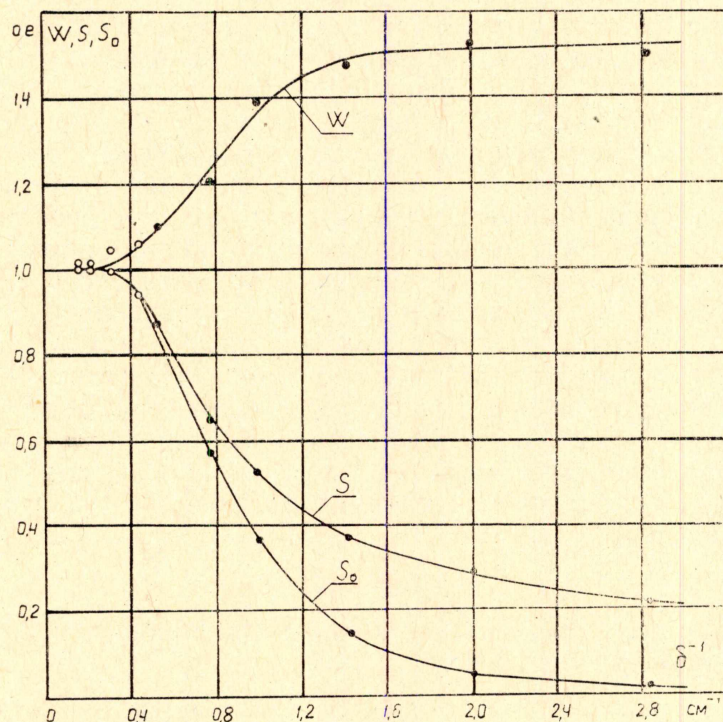


Рис. 2. Распределение индукции по радиусу медного образца при различных частотах.

ник поля у границ образца увеличиваются. Фаза поля вдоль радиуса экранирующего образца значительно изменяется, достигая величины порядка 100° в центре медного образца при $f=50$ гц. Чем лучше экранирование, тем больше изменение фазы, которое является более чувствительным индикатором экранирования, чем изменение индукции. Фаза поля за границами образца остается практически неизменной.

В турбогенераторе пик поля у внутренней кромки экрана приходится на область торцевой части спинки и зубцов у дна паза, имеющую и без того большую концентрацию местных потерь, что необходимо учитывать при охлаждении торцовых частей.

2. Экранирование исследуемых образцов (порядка 1%) начинает проявляться при $\delta \cong 3$ см (рис. 3) в области $\delta = 2 \div 0,65$ см экранирование и пик поля у границ образца увеличиваются значительно, далее меньше. С этой точки зрения при постоянных размерах $D_{\text{ср}}$ и b экрана турбогенератора, начиная с определенной толщины, дальнейшее ее увеличение становится малоэффективным.

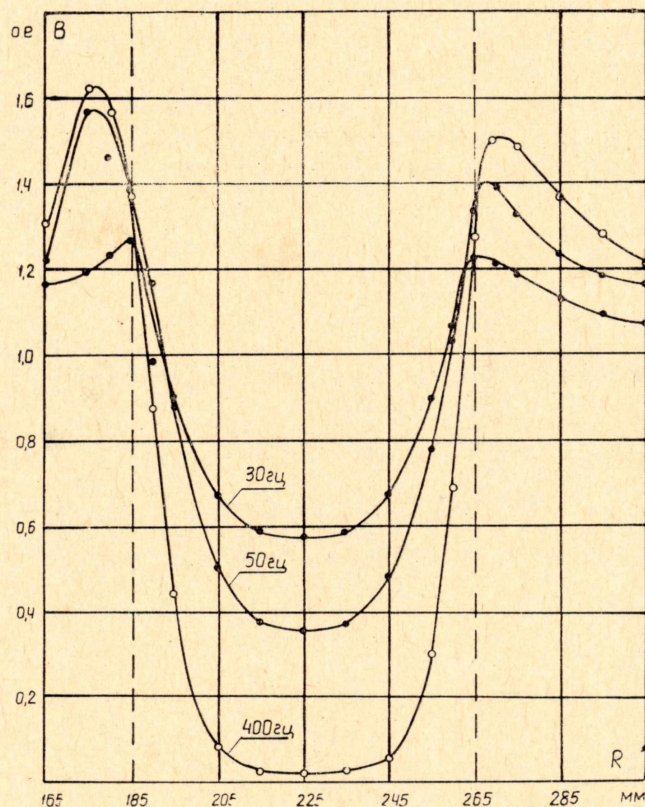


Рис. 3. Параметры экранирования исследуемых образцов при различных частотах: $\circ$ — образец из немагнитной стали, $\bullet$ — образец из меди.

3. Экспериментальная зависимость $W, S, S_0 = f(\delta^{-1})$ может быть использована для получения данных об экранировании оригинала — нажимных колец и экранов турбогенератора из немагнитных материалов, геометрически подобных исследуемым образцам. Параметры экранирования при $f = 50$ Гц для медного экрана находят по (2) в точке $\delta^{-1} = m^{-1}$, поскольку $\delta_{\text{ориг}} = 1$ см для оригинала из нержавеющей стали марки 1х18Н9Т — в точке $\delta^{-1} = (m \cdot 6,5)^{-1} \text{ см}^{-1}$. Так, медному экрану с размерами $b = 226$ мм, $h = 22,6$ мм, $D_{\text{ср}} = 1270$ мм ($m^{-1} = 2,83$), удаленному от спинки на 17 мм, соответствует $S = 0,22$ о. е., $W = 1,5$ о. е., $S_0 = 0,02$ о. е., то есть поле в центральной части экрана практически полностью экранируется (рис. 2 $f = 400$ Гц). Нажимному кольцу из нержавеющей стали с размерами $b = 400$ мм, $h = 40$ мм, $D_{\text{ср}} = 2250$ мм ($m^{-1} = 5$), удаленному от спинки на 30 мм соответствует $S = 0,65$ о. е., $W = 1,22$ о. е., $S_0 = 0,57$ о. е. Размеры такого нажимного кольца достаточно точно соответствуют размерам нажимного кольца турбогенератора типа ТВВ-320 мощностью 300 мвт, оно моделируется медным образцом при $f = 30$ Гц (рис. 2).

4. При частотах до 400 гц не обнаружено экранирования пакета спинки, шихтованного из кольцевых листов электротехнической стали марки Э31 ($\rho = 0,5 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$) толщиной 0,35 мм, что свидетельствует об отсутствии экранирования спинки статора из этой стали с размерами $b=283 \text{ мм}$, $D_{\text{ср}}=1275 \text{ мм}$ ($m^{-1}=2,83$) при $f=50 \text{ гц}$.

Заключение

Результаты исследования образцов с соотношением $b:h=8$ и $D_{\text{ср}}:b=5,6$ могут быть использованы для качественной оценки экранирования геометрически подобных деталей турбогенераторов, в частности, немагнитных нажимных колец и экранов в торцевой зоне. Подобные данные могут быть получены на макете вращающегося поля для деталей с другими геометрическими пропорциями. На макете возможно также сравнение различных вариантов применения экранов в турбогенераторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Косачевский, Г. М. Хуторецкий, П. В. Ошурков. Об экранировании торцовых пакетов сердечника статора турбогенератора. — В сб.: «Исследование электромагнитных полей, параметров и потерь в мощных электрических машинах». «Наука», 1966.
2. Г. Счастливый, В. Зенцев. Исследование магнитного поля в концевой зоне турбогенератора на физической модели. «Электротехническая промышленность», № 334, 1969.
3. К. Каден. Электромагнитные экраны. Госэнергоиздат, 1957.
4. А. В. Иванов-Смоленский. Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование. «Энергия», 1969.