

В. Т. ЧЕМЕРИС, И. А. БОРОДИЙ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ПОТОКОВ ПАЗОВОГО РАССЕЯНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОМАШИННОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Розглянуто чотири можливих конфігурації електромагнітних екранів для компенсації потоків пазового розсіювання в електромашинному імпульсному генераторі з компресією магнітного потоку. Підкреслюється доцільність зменшення індуктивності пазового розсіювання як засобу збільшення коефіцієнту підсилення магнітної енергії в процесі компресії потоку. Ефективність кожної з конфігурацій екранів оцінюється за величиною зменшення індуктивності пазового розсіювання. Для цього методом скінченних елементів з використанням професійної версії програми QuickField v.6.1 вирішується задача про розподіл імпульсного поля в зубцовій зоні генератора. Було створено також фізичну модель зубцової зони, в пазах якої активний провідник був розподілений на 9 паралельних секцій по висоті пазу. При живленні котушок від джерела змінного струму з частотою 400 Гц проведені вимірювання розподілу струму між секціями активного провідника як за відсутності електромагнітних екранів, так і при їх наявності. Показано, що екранування потоків пазового розсіювання суттєво поліпшує однорідність розподілу струму між секціями активного провідника.

Ключові слова: імпульсний електромашинний генератор, компресія магнітного потоку, компенсація потоків пазового розсіювання, чотири типи електромагнітних екранів, оцінка ефективності екранів, математичне моделювання поля, розрахунки індуктивності пазового розсіювання, використання програми QuickField v. 6.1, перевірка результатів на фізичній моделі.

Рассмотрены четыре возможных конфигурации электромагнитных экранов для компенсации потоков пазового рассеяния в электромашинном импульсном генераторе с компрессией магнитного потока. Подчеркивается целесообразность уменьшения индуктивности пазового рассеяния как способа увеличения коэффициента усиления магнитной энергии в процессе компрессии потока. Эффективность каждой конфигурации экранов оценивается по величине уменьшения индуктивности пазового рассеяния. Для этого методом конечных элементов с использованием профессиональной версии программы QuickField v. 6.1 решается задача о распределении импульсного поля в зубцовой зоне генератора. Была также создана физическая модель зубцовой зоны, в пазах которой активный проводник был подразделен на 9 параллельных секций по высоте пазы. При питании катушек от источника переменного тока с частотой 400 Гц проведены измерения распределения тока между секциями активного проводника как при отсутствии электромагнитных экранов, так и при их наличии. Показано, что экранирование потоков пазового рассеяния существенно улучшает равномерность распределения тока между секциями активного проводника.

Ключевые слова: импульсный электромашинный генератор, компрессия магнитного потока, компенсация потоков пазового рассеяния, четыре типа электромагнитных экранов, оценка эффективности экранов, математическое моделирование поля, расчеты индуктивности пазового рассеяния, использование программы QuickField v. 6.1, проверка результатов на физической модели.

Purpose. There are considered in the paper the four possible configurations of electromagnetic screens for compensation of the flux leakage of slots in the electromechanical pulse generator with a compression of magnetic flux. It is underlined the expediency of slot leakage inductance reduction as the method for increasing of coefficient of magnetic energy amplification in the process of flux compression. **Methodology.** Efficiency of each configuration of screens has been evaluated on the reduction of slot leakage inductance magnitude. To realize it the problem of pulsed field distribution in the teeth zone of generator has been solved by the finite elements method with application of professional version of software program QuickField v.6.1. **Originality.** There was manufactured the physical model of teeth zone in which the active conductor of slots was divided on 9 parallel sections along the height of slot. **Results.** With current supply from the source of alternating current at frequency 400 Hz that was measured a current distribution between the sections of active conductor both at the absence of electromagnetic screens and at their presence. **Practical value.** It is shown, that screening of slot leakage flux provides the more uniform distribution of current along the sections of active conductor with a corresponding reduction of slot leakage inductance.

Key words: pulsed electromechanical generator, magnetic flux compression, compensation of slot leakage fluxes, four kinds of electromagnetic screens, evaluation of screens efficiency, mathematical simulation of field, calculations of slot leakage inductance, using of program software QuickField v. 6.1, proving results at use of physical model.

Введение. Роль индуктивности рассеяния в импульсных электромашинных генераторах компрессионного типа несколько иная, чем в обычных генераторах переменного тока. Если в турбогенераторе индуктивность рассеяния (в том числе пазового) играет роль своеобразного демпфера при резких изменениях нагрузки, о чем говорил глава киевской школы электромехаников 50-х – 90-х годов XX ст. проф. И. М. Постников, то в генераторе с компрессией потока индуктивность рассеяния способна ограничить выполнение генератором его основной задачи по формированию мощных импульсов электромагнитной энергии.

Напомним, что основные принципы конструирования импульсных электромашинных генераторов были изложены в работах И. М. Постникова [1, 2] и позднее нашли развитие в работах сотрудников НИИЭФА [3-5], Томского политехн. ин-та [6, 7, 11], Института электродинамики [8-10] и других авторов.

Одним из основных показателей импульсного генератора является коэффициент изменения его индуктивности при повороте ротора на 180 электрических градусов: $k = L_{max}/L_{min}$ (в теории взрывомагнитных генераторов, впервые разработанных группой А. Д. Сахарова, эту величину называют коэффициентом сжатия потока). Поэтому при конструировании генератора важно достичь минимально возможных значений L_{min} . Предметом данной статьи является изучение возможности минимизации одной из составляющих этой величины, а именно, индуктивности пазового рассеяния. Что касается другой составляющей – индуктивности лобовых частей – то ее минимизация является отдельной задачей и ей посвящены работы других авторов.

Типовая схема соединения обмоток и нагрузки генератора согласно [3] показана на рис. 1.

Особенности распределения магнитного потока в зубцовой зоне и ярме статора компрессионного генератора в момент максимального сжатия потока при отсутствии средств компенсации пазового рассеяния можно видеть на рис. 2. Здесь показаны линии потока в сердечнике статора двухполюсного генератора, имеющего всего по 3 широких паза на полюс. Картина в сердечнике ротора аналогична и на рис. 2 опущена. Практически весь магнитный поток ярма охватывает зубцовую зону, замыкаясь вдоль зазора между статором и ротором.

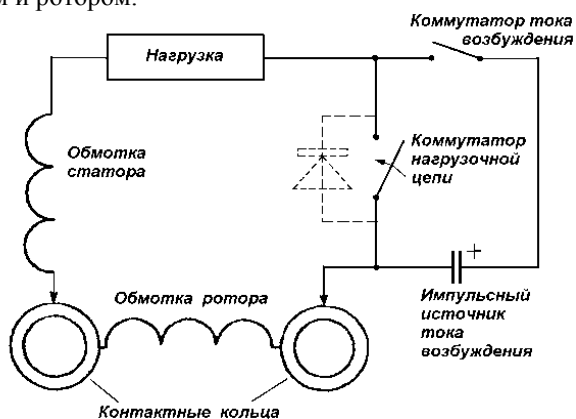


Рис. 1 – Электрическая схема соединения обмоток и нагрузки компрессионного генератора.

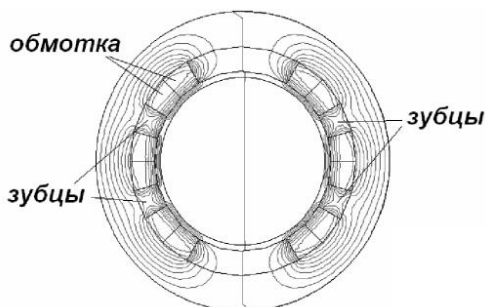


Рис. 2 – Результат моделирования магнитного поля в компрессионном генераторе в момент максимального сжатия потока. На рисунке показан только статор.

Одним из методов снижения индуктивности пазового рассеяния является насыщение магнитопровода в фазе сжатия потока [11]. Проблема снижения индуктивности рассеяния занимала умы исследователей давно. В 30-е годы XX ст. было предложено на дно паза укладывать экранирующие проводящие контуры [13], прилегающие своей плоскостью к стенке паза, однако при этом для размещения обратной стороны контура в стенке паза пришлось бы делать дополнительные аксиальные прорезы у основания зубца. Другой предложенный способ снижения потока рассеяния [12] предусматривал выполнение под дном паза дополнительных разрезов в ярме поперек магнитного потока с размещением в этих разрезах изолированных медных пластин. К сожалению, этот метод ведет к снижению магнитной проводимости не только для потока пазового рассеяния, но и для основного потока. Наиболее радикальное решение было предложено в изобретении [14]. Здесь предусмотрено выполнять

разрезы магнитной цепи с размещением в них проводящих пластин не в ярме, а непосредственно в зубцах статора, чтобы не ухудшать магнитную проводимость для основного потока. При всей эффективности этого метода он связан с усложнением технологии штамповки пластин стали при изготовлении магнитопровода. Иной возможный путь экранирования потоков пазового рассеяния заключается в том, чтобы медные пластины, выполняющие роль электромагнитных экранов, были размещены непосредственно в пазах статора. В данной работе выполнена оценка эффективности экранирования потоков пазового рассеяния для четырех различных конфигураций экранирующих пластин, размещенных в пазу.

Постановка задачи. Для последующего анализа были выбраны четыре конструкции пассивных электромагнитных экранов, схематически показанные на рис. 3.

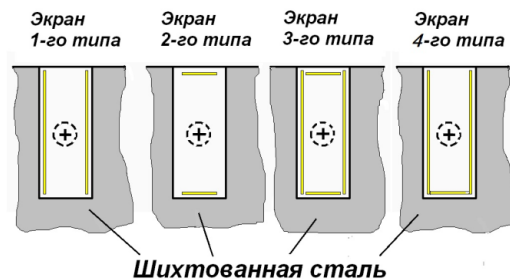


Рис. 3 – Четыре варианта размещения электропроводных пластин в пазу генератора для экранирования пазового рассеяния

Для оценки индуктивности проводников паза, обусловленной потоком рассеяния, предварительно выполнялся конечно-элементный расчет двумерной картины магнитного поля, обусловленного токами паза статора и ротора в фазе максимального сжатия магнитного потока, с применением моделирующей программы QuickField v. 6.1 [15]. Более детально конструкция электромагнитных экранов показана на рис. 4 и рис. 5.

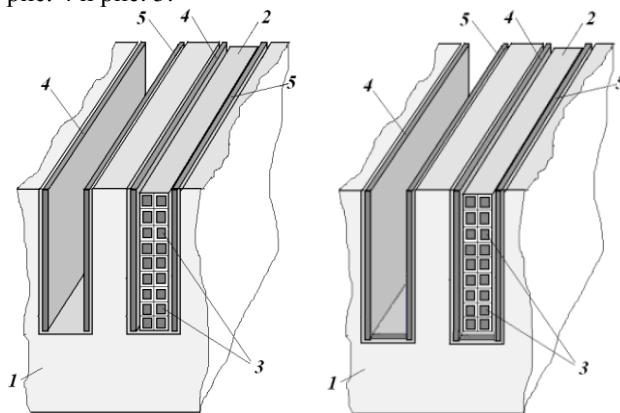


Рис. 4 – Размещение экранирующих проводников в пазу для экрана 1-го типа (слева) и для экрана 4-го типа (справа)

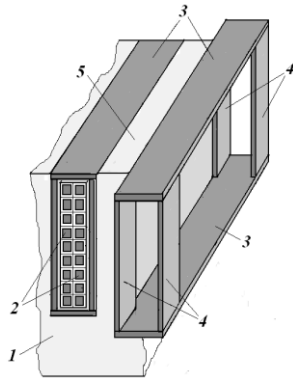


Рис. 5 – Размещение экранирующих проводников для экрана 2-го типа (правая часть рисунка) и для экрана 3-го типа (левая часть рисунка)

На рис. 4 использованы следующие обозначения: 1 – шихтованный магнитопровод; 2 – пазовая изоляция; 3 – активные проводники обмотки; 4, 5 – экранирующие медные пластины вдоль боковых стенок паза.

Обозначения на рис. 5: 1 – шихтованный магнитопровод; 2 – активные проводники обмотки; 3 – верхняя и нижняя медные пластины экрана; 4 – электропроводные перемычки между верхней и нижней пластинами экрана; 5 – зубец магнитопровода.

Предмет и метод исследования. По результатам расчета нестационарного магнитного поля представлялось возможным, используя интегральный калькулятор, входящий в состав программы, вычислять магнитный поток и по нему индуктивность проводников паза на единицу длины при различных вариантах экранирования потоков рассеяния и без экранирования. Преимущество программы QuickField для решения подобных задач заключается в том, что в ней предусмотрена возможность учета наличия массивных проводников в сечении расчетной модели – в нашем случае это экраны.

Для этих массивных проводников может быть задано условие равенства нулю полного тока в сечении проводника и способ соединения краев проводника, что очень важно для физического содержания рассматриваемой задачи.

Помимо математического моделирования потоков пазового рассеяния, в задачу исследования входило также создание физической модели рассматриваемого процесса и проверка с ее помощью основных выводов, полученных на основе численной модели.

Расчетная модель зубцовой зоны генератора.

Моделирование нестационарного магнитного поля было выполнено с помощью расчетной модели, включавшей два соседних паза зубцовой зоны. Моделирование зубцовой зоны в полном объеме существенно увеличило бы время решения задачи. В равной мере не очень эффективно ограничиваться анализом только одного паза, так как в компрессионном генераторе при максимальной сжатии потока поток рассеяния является общим для всех пазов. Эскиз сечения расчетной модели представлен на рис. 6 для случая, когда все экраны замещены неэлектропроводным материалом.

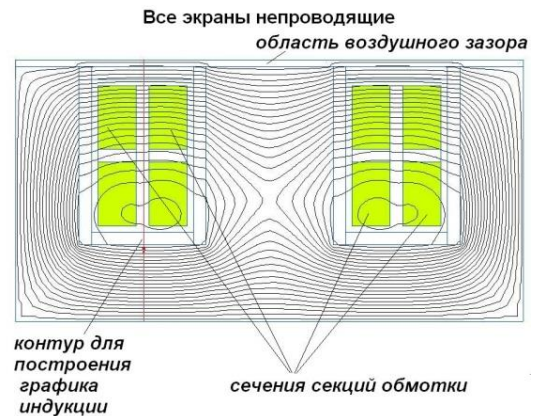


Рис. 6 – Эскиз сечения расчетной модели при отсутствии экранирующих электропроводных пластин. Сетка триангуляции содержит 6535 узлов

Здесь же показаны линии распределения магнитного потока. Видно, что в пазах значительная часть линий потока смещена в сторону дна паза, т.е. ближе к ферромагнитному ярму.

На рис. 7 дано сечение расчетной модели с учетом наличия медных пластин, образующих экран 3-го типа. Видно, что под действием индуктированных токов экрана значительная часть силовых линий магнитного поля сместилась в сторону открытия паза.

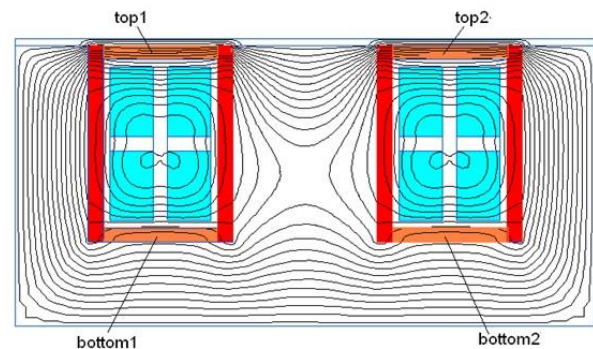


Рис. 7 – Эскиз сечения расчетной модели в случае применения экрана 3-го типа.

В сечении паза магнитные потоки ослаблены и образуют картину, почти симметричную относительно центра паза. Необходимо отметить, что при расчете нестационарного магнитного поля был задан режим импульсного включения тока в проводниках обмотки при длительности импульса 1 мс. Способ соединения краев электропроводных пластин экранов выбирался в соответствии с типом экрана. Так, для экранов 1-го, 2-го и 4-го типа, где медные пластины не образуют контуров, охватывающих весь магнитный поток, проходящий поперек паза, для пластин занимающих боковые стенки паза, было задано встречное включение (рис. 8, а). Напротив, для экрана 3-го типа, где медные пластины, лежащие на дне паза и у открытия паза, соединены между собой проводящими перемычками за пределами паза, было задано их согласное соединение (рис. 8, б).

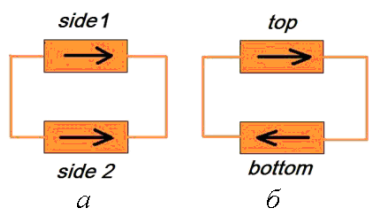


Рис. 8 – Электрическая схема соединения элементов экрана при моделировании в программе QuickField: *a* – для экранов 1-го, 2-го и 4-го типа, *б* – для экрана 3-го типа (*side 1, 2* – пластины на боковых стенках паза; *top, bottom* – пластины на дне и у открытия паза, соответственно).

Полученное в результате расчета распределение магнитной индукции в конце временного интервала 1 мс показано на рис. 9. При отсутствии в пазу экранирующих проводников индукция у открытия паза достигает величины 6,5 Тл, а в ярме индукция превышает 7 Тл. При наличии экрана 3-го типа индукция в ярме становится менее 2 Тл, а значительная часть потока вытесняется из ярма в паз. Все это ведет к уменьшению индуктивности пазового рассеяния.

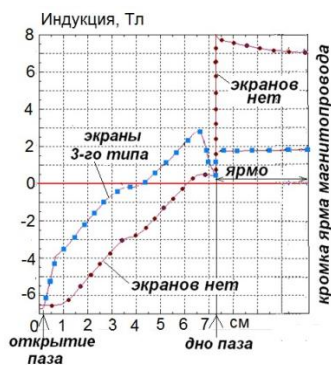


Рис. 9 – Распределение магнитной индукции по высоте паза и в ярме магнитопровода для $t = 1$ мс при отсутствии экранов и при наличии экрана 3-го типа.

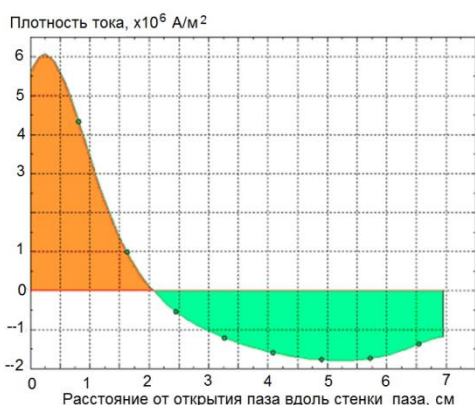


Рис. 10 – Расчетные данные о распределении плотности тока в пластине, прилегающей к боковой стенке паза, для экрана 1-го типа и 4-го типа.

Для контроля ожидаемого распределения токов по сечению пластин экрана регистрировалось расчетное распределение плотности тока, которое показано на рис. 10 для экранов 1-го типа и 4-го типа. Можно видеть, что полный ток по сечению пластины равен нулю.

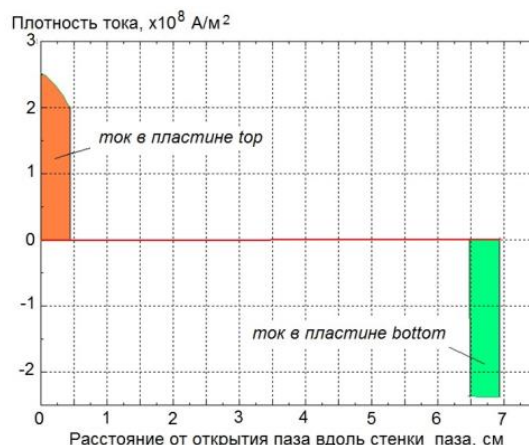


Рис. 11 – Плотность тока в верхней («top») и нижней («bottom») пластинах экрана 3-го типа.

Экран 3-го типа отличается тем, что его верхняя и нижняя пластины благодаря добавочным перемычкам образуют замкнутый контур, сцепленный с потоком рассеяния, поэтому токи в этих пластинах, как это видно на графике рис. 11, имеют противоположное направление.

Полученные расчетные значения индуктивности проводников паза сопоставлялись с величиной, полученной при отсутствии экранирующих проводников. Результаты сравнения показаны в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение типов экрана

Тип экрана	Индуктивность секций L , мГн	Эффективность экрана, L_S/L
Без экрана	$L_S = 11,577$	1,0
1-й	7,439	1,556
2-й	6,81	1,7
3-й	5,621	2,06
4-й	7,04	1,644

Обсуждение результатов первого этапа моделирования. Экраны 1-го типа обеспечивают снижение потоков рассеяния без установки дополнительных перемычек между пластинами. Экраны 2-го типа дают положительный эффект только при наличии перемычек, соединяющих края этих пластин за пределами паза. Экраны 3-го типа показали самое эффективное экранирование (это результат совместного применения экранов 1-го и 2-го типа). Экран 4-го типа (так называемый «П-образный» экран) по эффективности уступает экранам 2-го и 3-го типа.

Описание экспериментальной модели. В свое время под руководством автора инженер А. Н. Шац выполнил физическое моделирование подобной задачи об экранировании пазового рассеяния на модели зубцовой зоны генератора, катушки которой питались переменным током частоты 400 Гц (период колебаний 2,5 мсек). Модель была изготовлена на основе двух шихтованных пакетов линейного статора, которые имели по 18 пазов. Обмотка каждого из них сос-

тояла из 4-х катушек, стороны которых занимали по 4 паза, полюсное деление охватывало 8 зубцовых делений. Все катушки в пределах паза были подразделены на 9 параллельных секций. Из них были образованы 9 параллельных ветвей обмотки, куда вошли одноименные секции всех катушек. Направление тока в катушках одного статора было противоположно направлению тока в катушках другого статора, чем обеспечивалось распределение магнитного поля, сходное с режимом компрессии магнитного потока. Общий вид модели показан на рис. 12. Во всех пазах, занятых обмоткой, устанавливались электро-магнитные экраны одного типа.

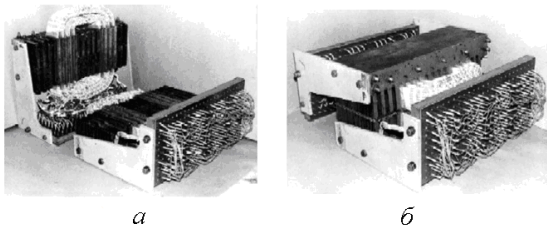


Рис. 12 – Физическая модель зубцовой зоны компрессионного генератора (а – в раскрытом виде, б – в рабочем состоянии)

Результаты вычисления индуктивностей секций обмотки по измерениям тока в каждой из параллельных ветвей приведены на рис. 13. За базисную величину принята индуктивность 5-й ветви, проводники которой размещались в центральной зоне паза.

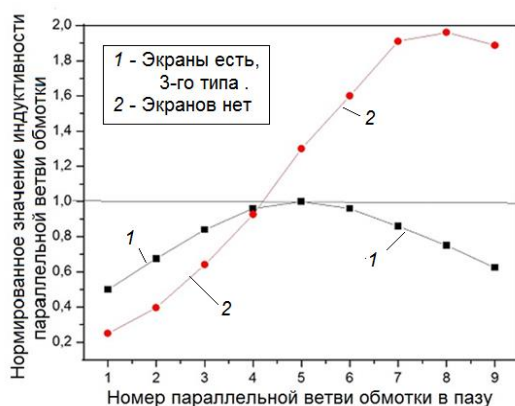


Рис. 13 – Нормированные значения индуктивностей секций обмотки по результатам измерений на физической модели.

На физической модели с глубоким пазом была получено снижение общей индуктивности катушек паза за счет экранирования в 1,7 раза для экрана 1-го типа, в 2,1 раза для экрана 2-го типа и в 2,53 раза для экрана 3-го типа.

Модель для расчета магнитного поля, приближенная к условиям эксперимента. Поскольку в физической модели был использован глубокопазный статор, для приближения результатов расчета к условиям эксперимента была подготовлена модель для расчета нестационарного магнитного поля вокруг одного глу-

бокого паза с экранирующими проводниками по схеме экрана 3-го типа. Проводники обмотки в пазу были подразделены на 9 секций подобно тому, как это было сделано в физической модели. Расчетное распределение силовых линий поля в модели глубокопазной обмотки показано на рис. 14. Цветом выделены проводники секций обмотки и проводники экрана 3-го типа. Сетка триангуляции содержит 120 тысяч узлов.

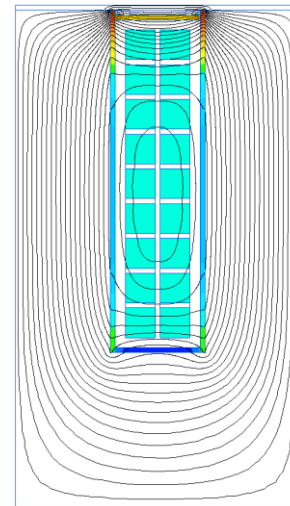


Рис. 14 – Расчетная модель и полученная картина магнитного поля вокруг паза глубокопазной обмотки

Подобно результатам предыдущего расчета, присутствие экрана приводит к перераспределению поля внутри паза, смещая часть потока ближе к открытию паза.

С помощью интегрального калькулятора программы QuickField /были определены индуктивности секций обмотки с учетом влияния экрана. Результаты показаны на рис. 15.

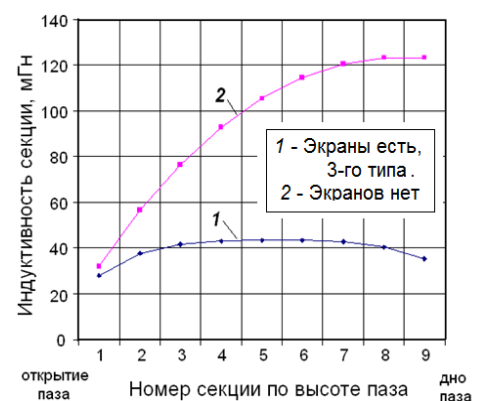


Рис. 15 – Результаты расчета индуктивности секций глубокопазной обмотки в зависимости от ее положения в пазу

При вычислениях, как и в предыдущей модели, здесь была использована типовая кривая намагничивания электротехнической стали (рис. 16).

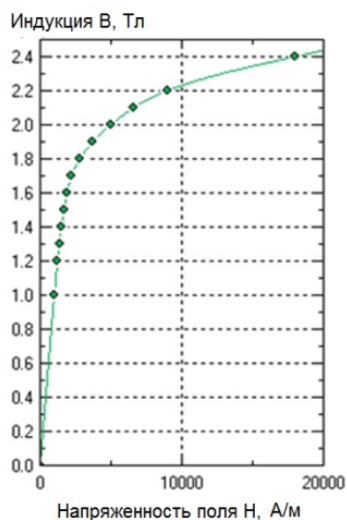


Рис. 16 – Кривая намагничивания стали, использованная при расчетах поля

Выводы.

Проведенное моделирование магнитного поля в компрессионном генераторе в режиме компрессии магнитного потока показывает, что пазовое рассеяние обуславливает значительную часть минимальной индуктивности генератора, вызывая увеличение индуктивностей у проводников обмотки, лежащих на дне паза.

Применение электромагнитных экранов в виде медных пластин, размещенных непосредственно в пазу машины, позволяет отсеснить часть магнитного потока в сторону открытия паза и снизить неоднородность в распределении индуктивностей параллельных ветвей обмотки. Из четырех рассмотренных конфигураций электромагнитных экранов наибольшей эффективностью обладают экраны, которые образуют проводящие контуры, сцепленные с магнитным потоком, проходящим поперек паза. Такие экраны состоят из медных пластин, из которых одна размещена на дне паза, а другая у открытия паза и соединена с первой с помощью проводящих перемычек, размещенных вне паза.

В работе такие экраны названы экранами 3-го типа. Эффективность такого экрана повышается при одновременном применении медных пластин, покрывающих боковые стенки паза.

Выводы, полученные при численном моделировании магнитного поля и расчетах индуктивностей проводников паза с помощью интегрального калькулятора программы QuickField, находят подтверждение при рассмотрении результатов измерения индуктивностей параллельных ветвей обмотки на физической модели в режиме, близком к компрессии магнитного потока.

Выражение благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность Канадскому отделению фирмы Tera Analysis в г. Торонто за предоставленную возможность использования в работе профессиональной версии программы QuickField версии 6.1.

Список литературы

1. Постников И. М. К проблеме получения значительной величины кратковременной электромагнитной мощности / И. М. Постников. – Труды Ленингр. политехн. ин-та, 1937. – Том 2. – № 1. – С. 135-156.
2. Постников И. М. О проектировании ударного генератора / И. М. Постников // Труды Ленингр. политехн. ин-та. – 1960. – № 209. – С. 89-98.
3. Кучинский В. Г. Электромашинный генератор импульсов / В. Г. Кучинский, Б. А. Ларионов Авт. свид. СССР № 934888, кл. Н 03 К 3/00. Опубл. 15.03.1983, бюлл. № 30.
4. Дружинин А. С. Компрессионные генераторы / А. С. Дружинин, В. Г. Кучинский, Б. А. Ларионов. – В книге: Физика и техника мощных импульсных систем / под ред. Е. П. Велихова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 280-295.
5. Дружинин А. С., Кучинский В. Г. Расчет нагрузочных характеристик компрессионного генератора / А. С. Дружинин, В. Г. Кучинский. – Л.: Препринт НИИЭФА Б-0581, 1982.
6. Сипайлов Г. А. Электромашинное генерирование импульсных мощностей в автономных режимах / Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос, А. И. Чучалин. – М.: Энергоатомиздат, 1980. – 169 с.
7. Глебов И. А. Синхронные генераторы кратковременного и ударного действия / И. А. Глебов, Э. Г. Кашарский, Ф. Г. Рутберг. – Л.: Наука, 1985. – 224 с.
8. Подольцев А. Д. Анализ энергетических характеристик ударного электромашинного генератора компрессионного типа при работе на омическую, емкостную и индуктивную нагрузку / А. Д. Подольцев. – Киев, 1985. – Препринт АН УССР / Ин-т электродинамики, № 1321. – 33 с.
9. Подольцев А. Д. Энергетические характеристики и параметры импульсного компрессионного генератора при работе на омическую нагрузку / А. Д. Подольцев, И. С. Петухов // Технич. электродинамика. – 1985. – № 3. – С. 10-15.
10. Петухов И. С. Оптимизация параметров электромашинного генератора компрессионного типа методом ЛП-поиска / И. С. Петухов, А. Д. Подольцев, В. Т. Чемерис // Технич. электродинамика. – 1987. – № 5. – С. 7-12.
11. Хорьков К. А. Учет насыщения железа при расчете проводимости пазового рассеяния обмотки статора ударного генератора / К. А. Хорьков, В. С. Баклин. – Известия Томского политехн. ин-та. – Том 229. – 1972. – С. 136-140.
12. Шенфер К. И. Способ уменьшения поля рассеяния обмоток электрических машин переменного тока / К. И. Шенфер. – Авт. свид. СССР № 10673. – кл. Н 02 К 3/42. – Опубл. 31.07.1929 г.
13. Комар Е. Г. Электрическая машина / Е. Г. Комар. – Авт. свид. СССР № 25213 – кл. Н 02 К 1/16. – Опубл. 29.02.1932 г.
14. Сипайлов Г. А. Статор ударного генератора / Г. А. Сипайлов, В. З. Хорькова. – Авт. свид. СССР № 365768, кл. Н 02 К 1/16. – Опубл. 08.01.1973 г.
15. QuickField. A new approach to field modelling. – Доступ в Интернете: https://quickfield.com/allnews/tera_ltd.htm

References (transliterated)

1. Postnikov I. M. K probleme polucheniya znachitel'noy velichiny' kratkovremennoy elektromagnitnoy mozhchnosti [To the problem of obtaining of significant value of short-time electromagnetic power]. *Trudy' of Leningrad Politechn. Inst.*, 1937, vol. 2, no. 1, pp. 135-156. (Rus)
2. Postnikov I. M. O proektirovanii udarnogo generatopa [About designing of shock generator]. *Trudy' of Leningrad Politechn. Inst.*, 1960, no. 209, pp. 89-98. (Rus)
3. Kuchinskii V. G., Larionov B. A. *Elektromashinnyi generator impulsov* [Electromechanical generator of pulses]. USSR Auth. Sert. No. 934888, Cl. H 03 K 3/00. Date of publ. 15.03.1983, Bull. No. 30. (Rus)
4. Druzhinin A. S., Kuchinskii V. G., Larionov B. A. *Kompressionnye generatory'* [Compression generators]. In the book: *Fizika i tehnika mozhnykh impulsnykh sistem pod red. E.P.Velikhova* [Physics and technology of pulsed power systems, edited by E. P. Velihov]. Moscow, Ehergoatomizdat Publ., 1986, pp. 280-298. (Rus)
5. Druzhinin A. S., Kuchinskii V. G. *Raschet nagruzochnykh harakteristik kompressionnogo generatopa* [Calculation of load characteristics of compression generator]. Leningrad, Preprint of NIIÉFA B-0581, 1982. (Rus)

6. Sipailov G. A., Loos A. V., Chuchalin A. I. *Elektromashinnoe generirovaniye impulsny'kh mozhnostey v avtonomnykh rezhimakh* [Electromechanical generation of pulsed power in autonomous modes]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1980, 169 p. (Rus)
7. Glebov I. A., Kasharskii E. G., Rutberg Ph. G. *Sinhronnyye generatory' kratkovremennogo i udarnogo deistviya* [Synchronous generators of short-time and shock action]. Leningrad, Nauka Publ., 1985, 224 p. (Rus)
8. Podoltsev A. D. *Analiz energeticheskikh harakteristik udarnogo elektrymashinnoho generatora kompressionnoho tipa pri rabote na omicheskuyu, yemkostnuyu i induktivnyuyu nagruzku* [Analysis of energetic characteristics of shock electromechanical generator of compression type at work with ohmical, capacitive and inductive load]. Kyiv, Preprint no. 321 of Ukraine Academy of Science, Inst. of Electrodynamics, 1985, 33 p. (Rus)
9. Podoltsev A. D., Petuhov I. S. *Energeticheskiye harakteristiki i parametry' impulsnoho kompressionnoho generatora pri rabote na ohmicheskuyu nagruzku* [Energetic characteristics and parameters of pulsed compression generator at work with ohmical load]. *Technicheskaya elektrodinamika*, 1985, no. 3, pp.10-15. (Rus)
10. Petuhov I. S., Podoltsev A. D., Chemerys V. T. *Optimizatsiya parametrov elektromashinnoho generatora kompressionnoho tipa metodom LP-poiska* [Optimization of parameters for electromechanical generator of compression type by method of LP-search]. *Technicheskaya elektrodinamika*, 1987, no. 5, pp. 7-12. (Rus)
11. Khor'kov K. A., Baklin V. S. *Uchet nasyzhcheniya zheleza pri raschete provodimosti pazovoho rasseyaniya obmotki statora udarnoho generatora* [Saturation of steel taking into account at calculation of slot leakage conductance for stator winding of shock generator]. *Izvestiya Tomskogo Politechn. Inst.*, vol. 229, 1972, pp.136-140. (Rus)
12. Shenfer K. I. *Sposob umen'sheniya polia rasseyaniya obmotok elektricheskikh mashin peremennoho toka* [Method for reduction of leakage field of stator winding of electric machines of alternating current]. USSR Auth. Ser. No. 10673, Cl. H 02 K 3/42. Data of Publ. 31.07.1929. (Rus)
13. Komar E. G. *Electricheskaya mashina* [Electrical machine]. USSR Auth. Ser. No. 25213, Cl. H 02 K 1/16. Data of Publ. 29.02.1932. (Rus)
14. Sipailov G. A., Khor'kova V. Z. *Stator udarnoho generatora* [Stator of shock generator]. USSR Auth. Ser. No. 365768, Cl. H 02 K 1/16. Data of Publ. 08.01.1973. (Rus)
15. QuickField. A new approach to field modelling. Access in Internet: https://quickfield.com/allnews/tera_ltd.htm

Поступила (received) 09.02.2020

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Чемерис В. Т. Оцінка ефективності електромагнітних екранів для компенсації потоків пазового розсіювання в імпульсному електромашинному генераторі / В. Т. Чемерис, І. О. Бородій // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – 2020. – № 3 (1357). – С. 71–77. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.12.

Чемерис В. Т. Оценка эффективности электромагнитных экранов для компенсации потоков пазового рассеяния в импульсном электромашинном генераторе / В. Т. Чемерис, И. А. Бородий // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – 2020. – № 3 (1357). – С. 71–77. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.12.

Chemerys V. T. Estimation of the electromagnetic screens efficiency for the compensation of slot leakage fluxes in the pulsed electromechanical generator / V. T. Chemerys, I. O. Borodiy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – 2020. – No. 3 (1357). – P. 71–77. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.12.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чемерис Володимир Терентійович (Чемерис Владимир Терентьевич, Chemerys Volodymyr Terentyovych) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами, Таврійський національний університет України, Київ, Україна; ORCID:0000-0002-333; тел.: (067) 978-92-56; e-mail: vchemer61@gmail.com.

Бородій Ірина Олексіївна (Бородий Ирина Алексеевна, Borodiy Iren Oleksiivna) – викладач фізики, Національний авіаційний університет, старший викладач кафедри загальної та прикладної фізики, Київ, Україна; ORCID: 0000-0002-1718-4809; тел.: (044) 406-78-40; e-mail: miko2010@ukr.net.