

АКТИВНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТОКОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Розроблена методика експериментального дослідження макета системи активного екранування спотворень магнітного поля промислової частоти поблизу генераторних струмопроводів електростанцій за допомогою керування джерел магнітного поля. Приведені результати експериментальних досліджень макета системи активного екранування із різними алгоритмами керування.

Разработана методика экспериментального исследования макета системы активного экранирования искажений магнитного поля промышленной частоты вблизи генераторных токопроводов электростанций с помощью управляемых источников магнитного поля. Приведены результаты экспериментальных исследований макета системы активного экранирования с различными алгоритмами управления.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗЬ С НАУЧНЫМИ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ

Магнитное поле техногенного происхождения является одним из экологических факторов, негативно влияющих на биологические объекты. Отклонение геомагнитного поля от его естественного значения оказывает негативное влияние на организм человека. Особенно опасными является снижение геомагнитного поля в зонах длительного пребывания человека. Магнитное поле промышленной частоты является канцерогенным и приводит к раковым заболеваниям. В связи с этим во всем мире проводятся интенсивные исследования и комплекс мероприятий по поддержанию параметров внутреннего магнитного поля на уровне магнитного поля Земли для выполнения экологических норм внутри рабочих помещений энергонасыщенных объектов, а также для создания комфортных условий жизни и работы. Рассмотрим синтез такой системы управления магнитным полем с помощью системы специальных управляемых источников магнитного поля – обмоток с регулируемым током, установленных в зоне, где необходимо поддерживать параметры внутреннего магнитного поля в заданных пределах.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ

Для уменьшения уровня техногенного магнитного поля разрабатываются системы пассивного и активного экранирования. Существующие системы активного экранирования техногенного магнитного поля, как правило, являются разомкнутыми. В работах [1-3] рассмотрены вопросы построения замкнутых систем компенсации магнитного поля технических объектов с различными способами формирования обратных связей, а в работах [4-5] рассмотрены вопросы синтеза систем активного экранирования магнитного поля промышленной частоты.

Однако в работах [4-5] не проведены экспериментальные исследования эффективности систем активного экранирования магнитного поля промышленной частоты. Рассмотрим экспериментальные исследования эффективности макета такой системы управления магнитным полем с помощью системы специальных управляемых источников магнитного поля – обмоток с регулируемым током, установленных в зоне, где необходимо поддерживать параметры внутреннего магнитного поля в заданных пределах.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является разработка методики синтеза и экспериментальных исследований макета системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты вблизи генераторных токопроводов электростанций. Задачей работы является проведение экспериментальных исследований макета системы активного экранирования магнитного поля промышленной вблизи генераторных токопроводов электростанций с различными алгоритмами управления и оценка эффективности системы активного экранирования магнитного поля.

ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В Научно-техническом центре магнетизма технических объектов НАН Украины проведены теоретические и экспериментальные исследования внешне магнитного поля электроэнергетического оборудования отечественных электростанций.

Показано, что основными источниками магнитного поля частотой 50 Гц является генераторные токопроводы энергоблоков мощностью более 100 МВт, которые создают техногенное магнитное поле в 3-5 раз превышающее предельно-допустимый уровень современных санитарных норм и представляет опасность для здоровья персонала.

В частности, на основании результатов проведенных экспериментальных исследований магнитного поля на рабочем месте вблизи генераторных токопроводов турбогенератора при номинальном токе турбогенератора электростанции в 15 кА установлено, что индукция магнитного поля в объеме базового рабочего места достигает 420 мкТл, в то время как санитарные нормы ограничивают уровень индукции магнитного поля в объеме базового рабочего места до 100 мкТл.

Для проведения экспериментальных исследований систем активного экранирования магнитного поля на рабочем месте вблизи генераторных токопроводов электростанции в Научно-техническом центре магнетизма технических объектов НАН Украины изготовлен физический макет трехфазного токопровода для макетирования распределения магнитного поля на рабочем месте вблизи токопровода электростанции. Внешний вид макет трехфазного токопровода показан на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид макет трехфазного токопровода

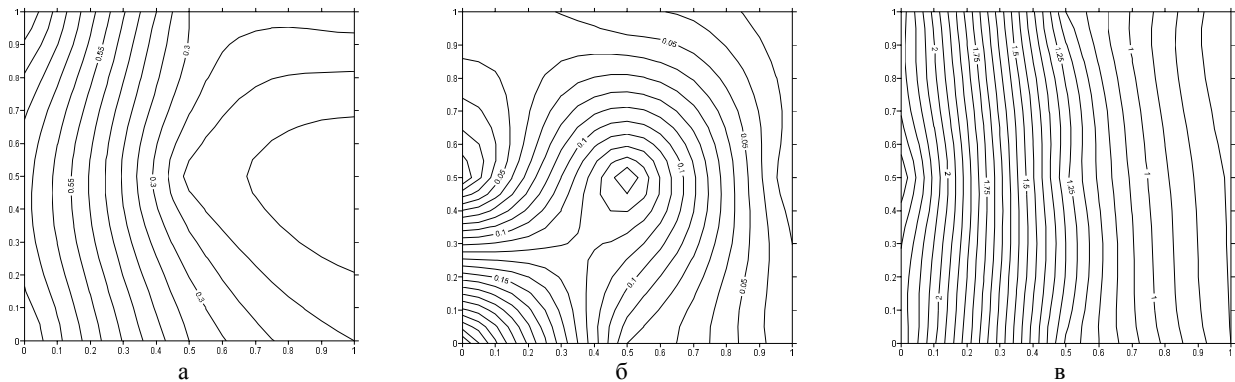


Рис. 2. Линии равного уровня распределения индукции магнитного поля z по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при включенном токопроводе

Сравнение результатов экспериментальных исследований распределения индукции магнитного поля, проведенных на рабочем месте вблизи токопровода турбогенератора и результатов экспериментальных исследований распределения индукции магнитного поля макета позволяет сделать вывод о том, что с учетом масштабного коэффициента макета относительная погрешность распределения индукции магнитного поля в рассматриваемой области рабочей зоны составляет не более 10 %.

СХЕМА СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В Научно-техническом центре магнетизма технических объектов НАН Украины изготовлен физический макет системы активного экранирования магнитного поля на рабочем месте вблизи токопровода электростанции. В зоне компенсации искажения магнитного поля размещены управляемые источники магнитного поля, ориентированные определенным образом в пространстве.

Первым этапом синтеза системы активного экранирования магнитного поля промышленной вблизи токопроводов электростанций является синтез самих источников управляющего магнитного поля, с помощью которых потенциально можно создать магнитное поле с требуемой пространственно-временной структурой.

Схема расположения токопровода и управляющих обмоток макета системы активного экранирования магнитного поля показана на рис. 3.

Макет системы активного экранирования состоит из пяти компенсационных обмоток, охватывающих рабочее место и формирующих компенсирующее магнитное поле.

Следующим этапом синтеза системы активного экранирования магнитного поля является проектирование такого динамического блока, входом которого яв-

ляются измеряемые переменные, а выходом являются задания источникам управляющего магнитного поля.

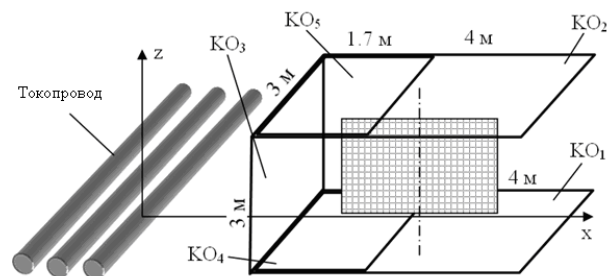


Рис. 3. Схема расположения токопровода и управляющих обмоток макета системы активного экранирования магнитного поля

Схема макета системы активного экранирования магнитного поля на рабочем месте вблизи токопровода электростанции показана на рис. 4. Секционные обмотки в вертикальной и горизонтальной плоскостях запитываются от соответствующих усилителей.

Макет системы активного экранирования состоит из пяти компенсационных обмоток (КО), охватывающих рабочее место и формирующих компенсирующее магнитное поле. Секционные обмотки в вертикальной и горизонтальной плоскостях запитываются от соответствующих источников питания (ИП) и содержат внутренние контуры тока с датчиками тока (ДТ) и регуляторами тока (РТ). Внешний вид системы управления показан на рис. 5.

Для работы системы используется информация об индукции магнитного поля внутри и вне изучаемого пространства, измеряемых с помощью датчиков поля ДП.

Для построения системы активного экранирования в изучаемом пространстве установлены две системы обмоток, создающие поле по координатам x и z . Естественно, что обмотки, создающие поле по ко-

ординате z , создают также поле и по координате x и y , а обмотки, создающие поле по координате x , создают также поле и по координате z и y .

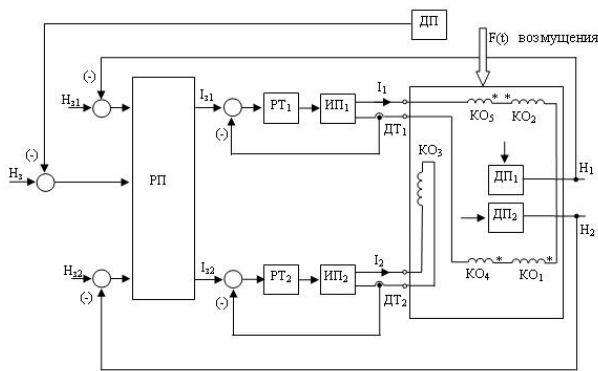


Рис. 4. Схема системы активного экранирования магнитного поля



Рис. 5. Внешний вид системы управления

Вначале были проведены исследования эффективности обмоток отдельных каналов управления. С этой целью на вход усилителя соответствующего канала подавалось напряжение частотой 50 Гц от отдельного источника и измерялась индукция магнитного поля во всем изучаемом пространстве по трем координатам x , y и z .

В частности, исполнительное устройство канала по координате x создает индукцию магнитного поля в центре равную 1,02 мкТл по координате x , 0,16 мкТл по координате y и 0,81 мкТл по координате z . А исполнительное устройство канала по координате z создает индукцию магнитного поля в центре, равную 0,42 мкТл по координате x , 0,1 мкТл по координате y и 4,9 мкТл по координате z .

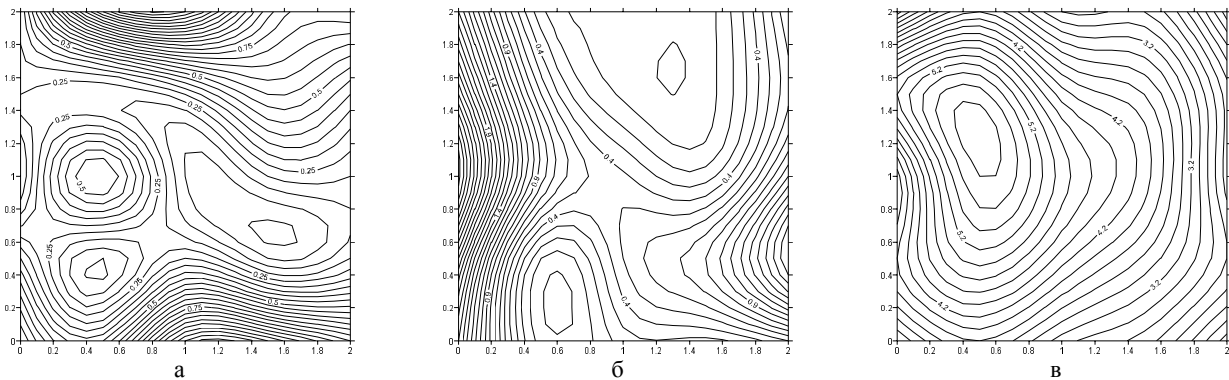


Рис. 6. Линии равного уровня распределения индукции магнитного поля z по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при включенном канале по координате z

В качестве примера на рис. 6 показаны линии равного уровня распределения индукции магнитного поля в центральном сечении ортогонально оси z по трем координатам x , y и z при включении обмотки по каналу z .

Таким образом, исполнительные устройства обоих каналов создают индукцию магнитного поля как в направлении "своих" координат, так и в направлении "чужих" координат.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Наиболее простой является разомкнутая система, схема которой показана на рис. 7.

Система активного экранирования построена по разомкнутому принципу и работает по датчику тока токопровода (ДТ). Заданные значения токов в компенсирующих обмотках формируются с помощью регулятора поля (РП), содержащего соответствующие усилители и фазовращатели, с помощью которых и настраивается система активного экранирования магнитного поля на рабочем месте вблизи токопровода электростанции.

Рассмотрим работу системы активного экранирования по каналу z . Магнитометр расположен в некоторой точке объема рабочего места. При отключенном токопроводе и системы активного экранирования магнитометр фиксирует наведенное магнитное поле, которое составляет 0,03 мкТл.

Подадим в токопровод ток величиной 20 А. При этом индукция магнитного поля составляет 1,2 мкТл. Включим систему активного экранирования. При этом уровень магнитного поля составляет 0,3 мкТл. Таким образом, с помощью системы компенсации уровень магнитного поля уменьшен с величины 1,2 мкТл до 0,3 мкТл, т.е. в 4 раза.

Рассмотрим теперь работу системы активного экранирования при большем значении тока в токопроводе, равным 50 А. При выключенной системе компенсации уровень магнитного поля составляет 2,8 мкТл. При включении системы компенсации уровень магнитного поля уменьшается до 0,7 мкТл. Таким образом, при увеличении тока в токопроводе с 20 А до 50 А уровень магнитного поля увеличился в 2,5 раза как без системы активного экранирования, так и с системой активного экранирования. Однако эффективность системы активного экранирования магнитного поля практически не изменился и составляет около 4 единиц.

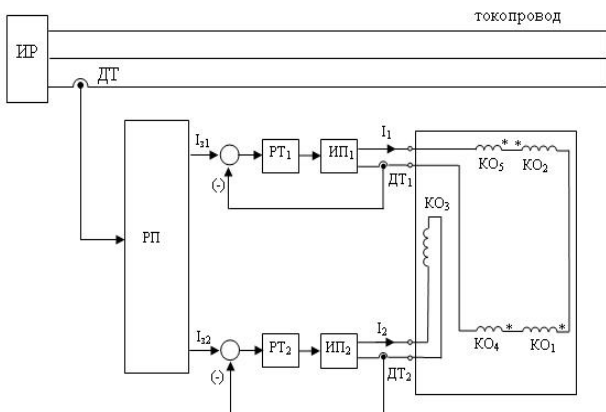


Рис. 7. Схема разомкнутой системы активного экранирования магнитного поля

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрим теперь систему активного экранирования, построенную по замкнутому принципу, схема которой показана на рис. 8. Для формирования обратной связи и замыкания системы по полю в центре изучаемого пространства установлены два датчика поля ДП, ориентированные по координатам x и z и измеряющие индукцию магнитного поля в направлении координат x и z . Заданные значения токов в компенсирующих обмотках формируются с помощью регулятора поля (РП), с помощью которого и настраивается система активного экранирования магнитного поля на рабочем месте вблизи токпровода электростанции.

При включении одного канала по координате z значение индукции в точке измерения изменялся следующим образом: по координате x увеличился в 1,7 раз с 0,18 мкТл до 0,3 мкТл; по координате y уменьшился в 15 раз с 0,15 мкТл до 0,01 мкТл; по координате z уменьшился в 11 раз – с 1,26 мкТл до 0,11 мкТл. На рис. 9 показаны линии равного уровня распределения индукции магнитного поля в центральном сечении ортогонально оси z по трем координатам x , y и z в системе, замкнутой по координате z .

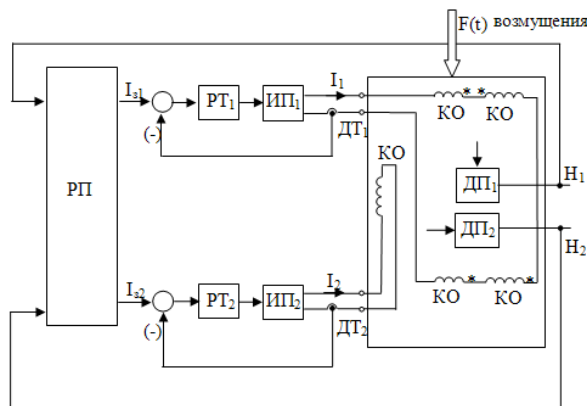


Рис. 8. Схема замкнутой системы активного экранирования магнитного поля

Таким образом, при включении только одного канала по координате z уровень индукции поля по этой же координате z в точке измерения уменьшилась более чем в десять раз.

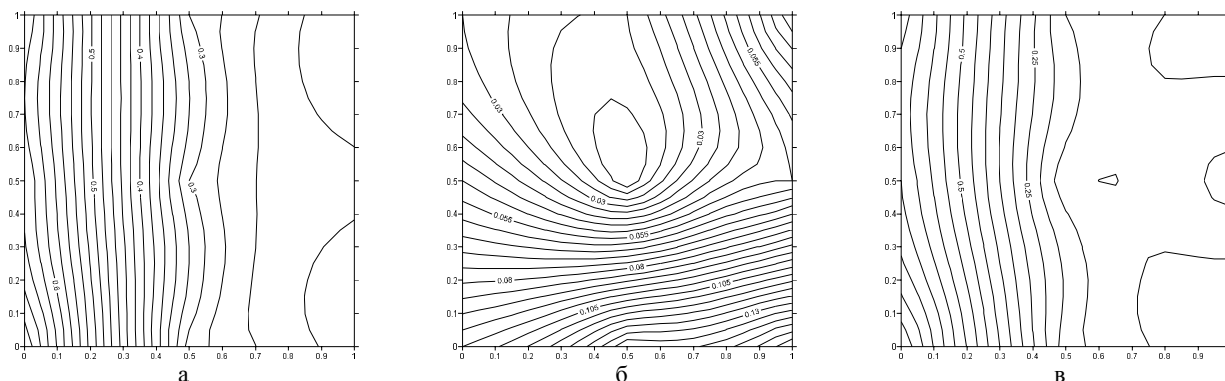


Рис. 9. Линии равного уровня распределения индукции магнитного поля по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при работе одного канала по координате z

При включении только одного канала по координате x уровень индукции поля по этой же координате x уменьшился в 1,8 раза с 0,18 мкТл до 0,1 мкТл; по координате y уменьшился в 2,5 раз с 0,15 мкТл до 0,06 мкТл; по координате z уменьшился в 1,2 раза с 1,15 мкТл до 0,95 мкТл. Таким образом, включение только одного канала по координате z приводит к возрастанию индукции по координате x , а включение только одного канала по координате x приводит к некоторому уменьшению индукции по координате z .

При включении обоих каналов уровень индукции магнитного поля в центре рассмотренного пространства, где расположены датчики поля, уменьшился: по координате x в четыре раза с 0,18 мкТл до 0,04 мкТл; по координате y в три раза с 0,15 до 0,05 мкТл и по координате z в пять раз с 1,26 мкТл до 0,25 мкТл. На рис. 10 показаны линии равного уровня распределения индукции магнитного поля в центральном сечении ортогонально оси z по трем координатам x , y и z при работе двух каналов.

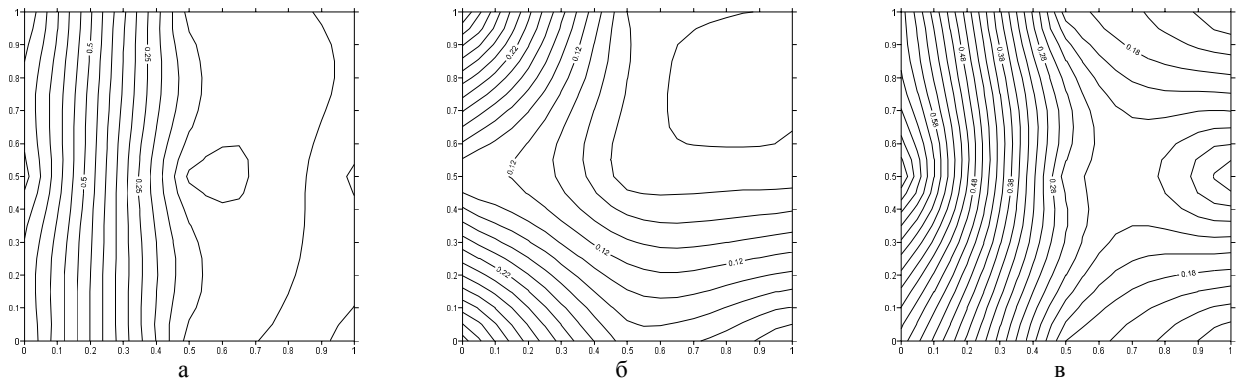


Рис. 10. Линии равного уровня распределения индукции магнитного поля по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при работе двух каналов

Таким образом, одновременное замыкание каналов по координатам x и z приводит к увеличению напряженности поля по координате z в два раза по сравнению с уровнем индукции при работе только одного канала по координате z .

Слабая эффективность компенсации индукции по координате x с помощью канала объясняется достаточно слабым сигналом датчика и тем, что система практически работает на уровне шумов датчика. Для повышения эффективности работы канала по координате x сместим датчик поля ближе к линии, там, где индукция магнитного поля по координате x существенно больше, чем в

центре и составляет 0,67 мкТл против 0,18 мкТл.

При таком положении датчика поля включение канала по координате x приводит к уменьшению уровня индукции магнитного поля в точке установки датчика поля в 16 раз с 0,67 мкТл до 0,04 мкТл, однако в центре уровень индукции магнитного поля практически не изменился и составляет около 0,18 мкТл. На рис. 11 показаны линии равного уровня распределения индукции магнитного поля в центральном сечении ортогонально оси z по трем координатам x , y и z при замыкании системы по каналу x при смещении датчика поля ближе к токопроводу.

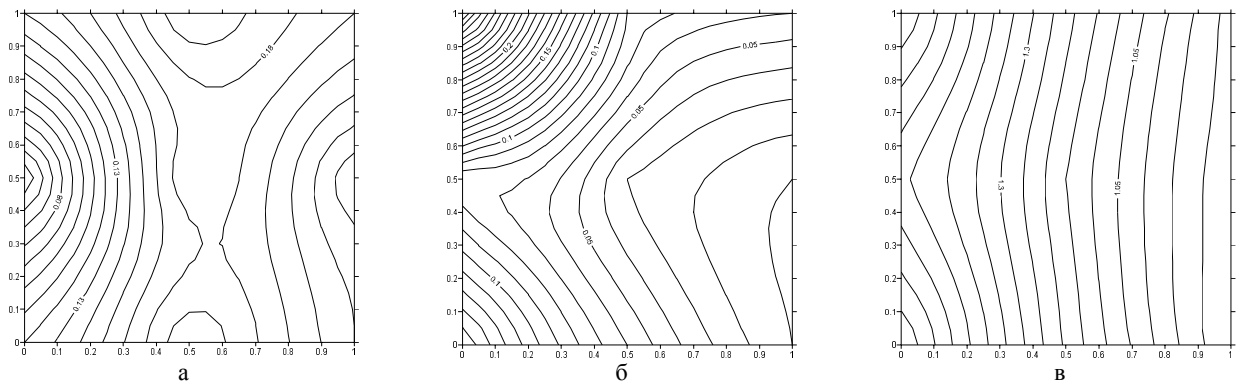


Рис. 11. Линии равного уровня распределения индукции магнитного поля по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при замыкании системы по каналу x и при смещенном датчике поля ближе к токопроводу

При замыкании канала z при таком положении датчика наблюдается уменьшение уровня индукции магнитного поля по координате z в точке установки датчика в 3 раза, однако в центре рассматриваемого пространства уровень индукции магнитного поля по

координате z изменяется незначительно.

На рис. 12 показаны линии равного уровня распределения индукции магнитного поля в центральном сечении ортогонально оси z по трем координатам x , y и z .

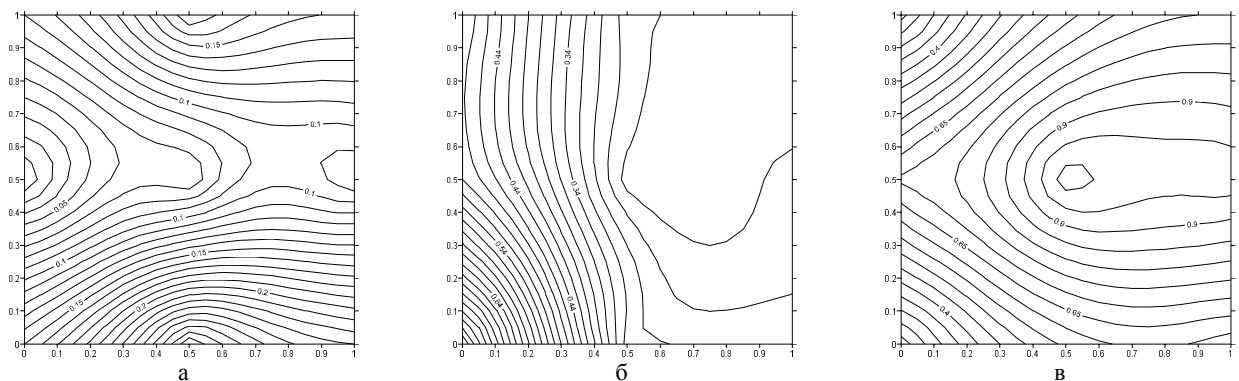


Рис. 12. Линии равного уровня распределения индукции магнитного по трем координатам: а – по координате x ; б – по координате y ; в – по координате z при замыкании системы по каналу z и при смещенном датчике поля ближе к токопроводу

Таким образом, при изменении положения датчика поля в пространстве канала системы уменьшают уровень индукции магнитного поля по соответствующим координатам только в области установки датчика.

ВЫВОДЫ ИЗ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ЭТОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Разработан общий подход к решению задачи активного экранирования магнитного поля на рабочих местах вблизи генераторных токопроводов электростанций. Для решения задачи активного экранирования магнитного поля необходимо определить принципы управления этими источниками и синтезировать управляющую часть системы активного экранирования магнитного поля. Разработаны и изготовлены физические макеты трехфазного токопровода и систем активного экранирования магнитного поля и проведены их экспериментальные исследования. При заданной конфигурации обмоток уровень активного экранирования искажений магнитного поля в макете системы активного экранирования во всем пространстве рабочего места составляет около 3.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили возможность достижения необходимой эффективности экранирования для обеспечения требований санитарных норм на рабочем месте вблизи генераторных токопроводов электростанций.

Для дальнейшего повышения эффективности активного экранирования магнитного поля до заданного уровня необходимо синтезировать дополнительные обмотки активного экранирования, с помощью которых потенциально можно достигнуть заданного уровня экранирования магнитного поля с помощью системы активного экранирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розов В.Ю., Ассуиров Д.А. Метод активного экранирования внешнего магнитного поля технических объектов / Технічна електродинаміка. – 2006. – № 3. – С. 13-16.
2. Розов В.Ю., Ассуиров Д.А., Реуцкий С.Ю. Замкнутые системы компенсации магнитного поля технических объектов с различными способами формирования обратных связей / Технічна електродинаміка. – 2008. – Ч. 4. – С. 97-100.
3. Розов В.Ю., Ассуиров Д.А., Пелевин Д.Е. Принципы построения систем автоматической компенсации биотропных искажений геомагнитного поля на рабочих местах оперативного персонала / Технічна електродинаміка. – 2009. – №1. – С. 51-54.
4. Кузнецов Б.И., Пелевин Д.Е., Бовдуй И.В., Коломиец В.В., Котляров Д.А. Компенсация искажений магнитного поля промышленной частоты / Електротехнічні і енергозбе-

рігаючі системи. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". – 2012 – №03(19). – С. 135-136.

5. Кузнецов Б.И., Пелевин Д.Е., Бовдуй И.В. Синтез системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты / Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 131-132.

Bibliography (transliterated): 1. Rozov V.Yu., Assuirov D.A. Metod aktivnogo `ekranirovaniya vneshnego magnitnogo polya tehniceskikh ob`ektov / Tehnichna elektrodinamika. - 2006. - № 3. - S. 13-16. 2. Rozov V.Yu., Assuirov D.A., Reuckij S.Yu. Zamknutyje sistemy kompensacii magnitnogo polya tehniceskikh ob`ektov s razlichnymi sposobami formirovaniya obratnyh svyazej / Tehnichna elektrodinamika. - 2008. - Ch. 4. - S. 97-100. 3. Rozov V.Yu., Assuirov D.A., Pelevin D.E. Principy postroeniya sistem avtomaticheskoy kompensacii biotropnyh iskazhenij geomagnitnogo polya na rabochih mestah operativnogo personala / Tehnichna elektrodinamika. - 2009. - №1. - S. 51-54. 4. Kuznecov B.I., Pelevin D.E., Bovduj I.V., Kolomic V.V., Kotlyarov D.A. Kompensacija iskazhenij magnitnogo polya promyshlennoj chastoty / Elektrotehnični i energozberigayuchi sistemi. Tematichnij vipusk "Problemi avtomatizovanogo elektroprivoda. Teoriya i praktika". - 2012 - №03(19). - S. 135-136. 5. Kuznecov B.I., Pelevin D.E., Bovduj I.V. Sintez sistemy aktivnogo `ekranirovaniya magnitnogo polya promyshlennoj chastoty / Tehnichna elektrodinamika. - 2012. - № 2. - S. 131-132.

Поступила (received) 20.06.2013

*Кузнецов Борис Иванович, д.т.н., проф.,
Никитина Татьяна Борисовна, д.т.н., проф.,
Бовдуй Игорь Валентинович, к.т.н.,*

*Волошко Александр Валерьевич, к.т.н., м.н.с.,
Виниченко Елена Владимировна, м.н.с.,
Котляров Денис Александрович*

*Научно-технический центр магнетизма
технических объектов НАН Украины,
отдел проблем управления магнитным полем,
61106, Харьков ул. Индустриальная, 19,
тел/phone: +38 050 5766900, e-mail: bikuznetsov@mail.ru*

*Kuznetsov B.I., Nikitina N.B., Bovduj I.V., Voloshko A.V.,
Vinichenko T.V., Kotlyarov D.A.*

*Science and Technology Center of Magnetism of Technical Objects
of National Academy of Sciences of Ukraine
19, Industrialna Str., Kharkiv, 61106, Ukraine*

Active screening of magnetic field near power station generator buses.

An experimental study technique for a prototyping system of active screening of power-frequency magnetic field distortions near power station generator buses via controllable magnetic field sources is presented. Results of experimental research on a prototyping active screening system with different control algorithms are given.

Key words – power frequency magnetic field, power station generator bus, prototyping active screening system, experimental research.