

резонанса в распределительных устройствах с элегазовыми выключателями. Указано, что соответствующей настройкой устройства контроля коммутации элегазовых выключателей можно избежать перенапряжений и возникновения феррорезонанса. Даны рекомендации по предупреждению возникновения и развития феррорезонансных процессов на подстанциях с элегазовыми выключателями. Библ. 7, рисунок.

Ключевые слова: феррорезонансный процесс, распределительное устройство, элегазовый выключатель, перенапряжения, сверхтоки.

I.Yu. Tugai, V.A. Melnychuk

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv, 03680, Ukraine

Ferroresonance processes at the substation with gas-insulated (SF₆) circuit breakers and electromagnetic voltage transformers

In this paper the characteristics of ferroresonance processes occurrence in high-voltage switchgears with SF₆ circuit breakers and measures to prevent possible abnormal modes are presented. The change in the character of transient processes when replacing circuit breakers of high-voltage switchgears on SF₆ circuit breakers is considered. It is shown that the replacement of oil and air circuit breakers for SF₆ circuit breakers, which carried out recently in the electric networks of Ukraine, along with the advantages there are certain problems associated with such long transients as ferroresonance. It is noted that ferroresonance oscillations at the fundamental frequency can cause the destruction of electrical equipment and ferroresonance at the subharmonic frequency can lead to failure of relay protection and automation devices. The analysis of ferroresonance necessary and sufficient conditions at high-voltage substations with SF₆ circuit breakers was developed. It is indicated that with the corresponding configuration of controlled switching of SF₆ circuit breakers the occurrence of overvoltages and ferroresonance can be avoided. Recommendations for the prevention of the ferroresonance processes emergence and development in substations with SF₆ circuit breakers are presented. References 7, figure.

Key words: ferroresonance process, switchgear, SF₆ circuit breaker, overvoltage, overcurrent.

Надійшла 31.05.2016

Received 31.05.2016

УДК 621.3.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТА ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Б.И. Кузнецов¹, докт. техн. наук, **Т.Б. Никитина²**, докт. техн. наук, **И.В. Бовдуй³**, канд. техн. наук, **А.В. Волошко⁴**, канд. техн. наук, **Е.В. Виниченко⁵**, канд. техн. наук

1, 3–5 – Институт технических проблем магнетизма НАН Украины,
ул. Индустриальная, 19, Харьков, 61106, Украина
e-mail: bikuznetsov@mail.ru

2 – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
ул. Петровского, 25, Харьков, 61002, Украина

Проведена экспериментальная верификация метода синтеза замкнутых систем активного экранирования магнитного поля на разработанном макете трехфазной одноцепной воздушной линии электропередачи, создающей вращающееся поле с наиболее сложной пространственно-временной структурой. Экспериментально подтверждена возможность уменьшения магнитной индукции до нормативного уровня для жилых помещений. Библ. 9, рис. 3.

Ключевые слова: трехфазные одноцепные воздушные линии электропередачи, магнитное поле промышленной частоты, макет системы активного экранирования, экспериментальные исследования.

Введение. Для выполнения нормативных уровней магнитного поля (МП) с частотой 50 Гц, введенных в 2014 году Министерством топлива и энергетики Украины [4], целесообразно использование систем активного экранирования (САЭ) МП [2, 7–9]. В [1] разработан метод синтеза САЭ МП, а также приведен пример синтеза системы с наиболее сложной пространственно-временной структурой вращающегося МП, создаваемого трехфазной одноцепной ЛЭП. Однако разработанный метод синтеза САЭ не имеет экспериментального подтверждения.

Целью работы являются экспериментальная верификация разработанного в [1] метода синтеза САЭ МП и подтверждение расчетной эффективности экранирования МП на макете САЭ МП, создаваемого трехфазной ЛЭП.

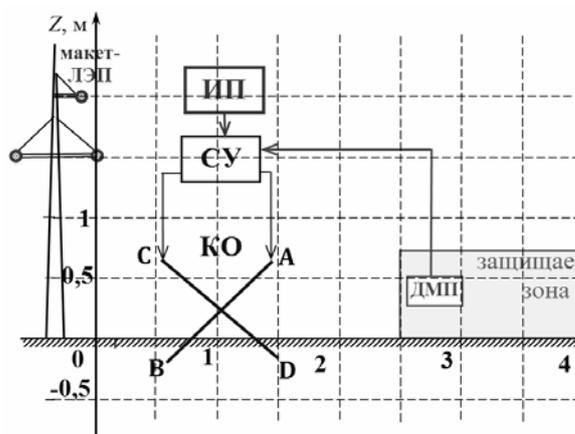


Рис. 1

макет ЛЭП

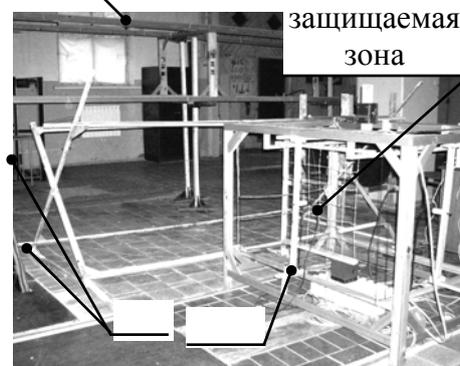


Рис. 2

Описание макета системы активного экранирования. Макет ЛЭП и САЭ МП, схема которого показана на рис. 1, состоит из двух компенсационных обмоток (КО), формирующих компенсирующее МП при протекании по ним токов, создаваемых системой управления (СУ) в функции сигналов обратной связи по МП, формируемых датчиками магнитного поля (ДМП), установленных в защищаемом пространстве. Система управления получает питание от вторичного источника питания (ИП). Координаты пространственного расположения и геометрические размеры КО, а также параметры регуляторов САЭ определены на основании разработанного в [1] метода синтеза САЭ МП в ходе решения многокритериальной задачи оптимизации. При этом координаты двух КО с учетом обозначений, показанных на рис. 1, соответственно равны: A(1,3930, 0,6547), B(0,6297, -0,1441) и C(0,5648, 0,6155), D(1,4600, -0,1600). Расчетное количество ампер-витков КО составляет 26,8331 и 23,9231, а фазовые сдвиги токов относительно опорного напряжения составляют 1,6121 и 0,6375 рад.

Обе КО содержат по 40 витков и питаются от усилителей типа TDA7294. Система управления каждой обмоткой содержит внешний регулятор магнитной индукции, измеряемой с помощью индуктивного датчика, и внутренний контур тока КО. В качестве ДМП САЭ используются индуктивные датчики, а измерение МП выполняется магнитометром типа EMF-828 фирмы Lutron. Внешний вид макета САЭ показан на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований. Вначале были проведены экспериментальные исследования адекватности математических моделей магнитной индукции, создаваемой макетом трехфазной одноцепной ЛЭП и КО макета САЭ в защищаемом пространстве. При токе 100 А макет ЛЭП создает МП с индукцией 2,1 мкТл, что соответствует рассмотренному в [1] примеру и более чем в четыре раза превышает нормативный уровень 0,5 мкТл. Отклонения экспериментальных значений магнитной индукции, создаваемых макетом ЛЭП и КО, от расчетных, выполненных по методике [6], не превышают 7 %.

Экспериментальные исследования макета САЭ МП проведены с различными алгоритмами управления – разомкнутым, замкнутым и комбинированным. В разомкнутой системе используется только датчик тока одного из токопроводов макета ЛЭП. В замкнутой системе используются два ДМП, расположенные непосредственно в защищаемой области. Так как КО расположены почти ортогонально друг другу, то и датчики поля также расположены почти ортогонально друг другу для измерения соответствующих компонент индукции магнитного поля, создаваемого КО. Эффективность замкнутой системы существенно зависит от места расположения ДМП внутри защищаемой области. В комбинированной системе одновременно используются оба канала регулирования, что позволяет повысить эффективность системы активного экранирования.

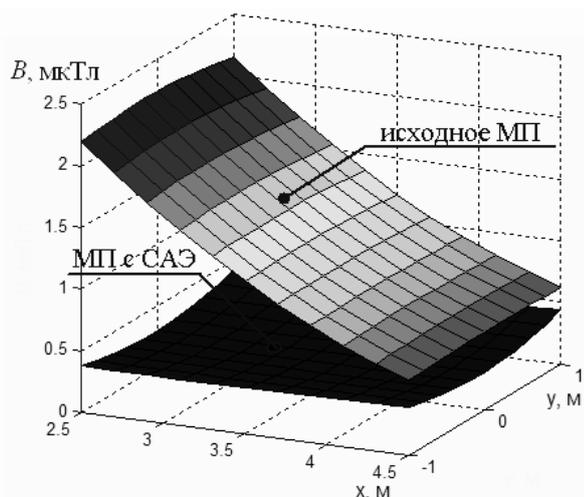


Рис. 3

На рис. 3 показаны экспериментально полученные на макете поверхности распределения индукции исходного МП, создаваемого макетом ЛЭП, и МП с САЭ в среднем сечении защищаемого пространства. Таким образом, экспериментально установлено, что при работе САЭ уровень индукции магнитного поля в рассматриваемой области не превосходит 0,5 мкТл, что удовлетворяет нормативным уровням магнитного поля с частотой 50 Гц [4]. Отклонения экспериментальных значений магнитной индукции макета от расчетных, полученных в [1], не превышают 10 %. Причем эти отклонения в основном обусловлены неточной установкой магнитометра, а также погрешностью работы регуляторов разомкнутого и замкнутого каналов управления.

В методе синтеза САЭ МП [1] предполагается, что в рассматриваемом пространстве отсутствуют ферромагнитные массы, однако строительные конструкции современных жилых домов экранируют МП на 2...10 % [3, 5], что вносит дополнительные погрешности. Кроме того, наличие ферромагнитных масс в реальных задачах приводит к дополнительному изменению МП в рассматриваемом пространстве. В частности, в месте расположения ДМП, показанных на рис. 2, экспериментально измеренные уровни магнитной индукции существенно отличаются от расчетных значений.

В заключение заметим, что в системе имеются сильные взаимные влияния каналов регулирования МП с помощью КО друг на друга, которые необходимо учитывать при наладке системы. В частности, при устойчивых автономных каналах регулирования, настроенных на максимальную эффективность, двухканальная система теряет устойчивость. Для обеспечения устойчивости двухканальной системы в регуляторах используются перекрестные связи между каналами. Для дальнейшего повышения эффективности системы необходимо синтезировать дополнительные КО и использовать малошумящие ДМП с более высоким отношением сигнал / шум.

Выводы. Выполнена экспериментальная верификация разработанного в [1] метода синтеза САЭ МП на макете САЭ МП, создаваемого трехфазной ЛЭП. Установлено, что отклонения экспериментальных значений магнитной индукции от расчетных не превышают 10 %. Экспериментально подтверждена возможность уменьшения уровня МП в рассматриваемом пространстве жилого дома до санитарных норм, а также возможность реализации коэффициента экранирования МП не менее 4 для наиболее сложного случая вращающегося МП.

1. Кузнецов Б.И., Туренко А.Н., Никитина Т.Б., Волошко А.В., Коломиец В.В. Метод синтеза замкнутых систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 8–10.
2. Пелевин Д.Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 14–16.
3. Пелевин Д.Е. Экранирование магнитного поля промышленной частоты стенами жилых домов // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 53–55.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЭ). Вид. 3-тє, перероб. і доп. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
5. Розов В.Ю., Гринченко В.С., Пелевин Д.Е., Чунихин К.В. Моделирование электромагнитного поля в помещениях жилых домов, расположенных вблизи линий электропередачи // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 3. – С. 6–8.
6. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пилюгина О.Ю. Метод расчета магнитного поля трехфазных линий электропередачи // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 11–13.

7. *Active Magnetic Shielding* (Field Cancellation). [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.emfservices.com/afcs.html>.
8. Celozzi S. Active shielding for power-frequency magnetic field reduction using genetic algorithms optimization / S. Celozzi, F. Garzia // IEE Proc. Sci. Meas. Technol. – Rome, Italy, Jan. 2004. – Vol. 151. № 1. – P. 2–7.
9. Shenkman A., Sonkin N., Kamensky V. Active protection from electromagnetic field hazards of a high voltage power line // HAIT Journal of Science and Engineering. – 2005. – № 2. – P. 254–265.

УДК 621.3.01

В.І. Кузнецов¹, докт. техн. наук, **Т.Б. Нікітіна²**, докт. техн. наук, **І.В. Бовдуй³**, канд. техн. наук, **О.В. Волошко⁴**, канд. техн. наук, **О.В. Вініченко⁵**, канд. техн. наук

1, 3–5 – Інститут технічних проблем магнетизму НАН України,
вул. Індустріальна, 19, Харків, 61106, Україна

2 – Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Петровського, 25, Харків, 61002, Україна

Експериментальні дослідження макета замкненої системи активного екранування магнітного поля трифазної лінії електропередачі

Проведено експериментальну верифікацію методу синтезу замкнених систем активного екранування магнітного поля на розробленому макеті трифазної одноланцюгової повітряної лінії електропередачі, яка створює обертове поле з найбільш складною просторово-часовою структурою. Експериментально підтверджено можливість зменшення магнітної індукції до нормативного рівня для житлових приміщень. Бібл. 9, рис. 3.

Ключові слова: трифазні одноланцюгові повітряні лінії електропередачі, магнітне поле промислової частоти, макет системи активного екранування, експериментальні дослідження.

V.I. Kuznetsov¹, **T.B. Nikitina²**, **I.V. Bovdуй³**, **A.V. Voloshko⁴**, **E.V. Vinichenko⁵**,

1, 3–5 – Institute of Technical Problems of Magnetism National Academy of Sciences of Ukraine,
Industrialna st., 19, Kharkiv, 61106, Ukraine

2 – Kharkov National Automobile and Highway University,
Petrovskoho st., 25, Kharkiv, 61002, Ukraine

Experimental researches of active shielding closed-loop model system of magnetic field of three-phase transmission power line

The experimental verification of the method of synthesis of active screening closed loop system model of magnetic field created of the three-phase- single-circuit overhead transmission power line with rotation magnetic field with the most complex space-time structure and. Experimentally confirmed the possibility of reducing the level of the magnetic field to the standard level for premises. References 9, figures 3.

Key words: three-phase single circuit transmission power line, power frequency magnetic field, active shielding system model, experimental researches.

Надійшла 03.02.2016

Остаточний варіант 23.06.2016

Received 03.02.2016

Accepted 23.06.2016

УДК 621.472

ЕНЕРГЕТИЧНІ КОМІРКИ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В.О. Войтех, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680 Україна
e-mail: vvoitek@mail.ru

Наведено особливості побудови автономних та мережевих фотоелектричних систем, розділення їх за потужностями та схемами підключення фотоелектричних панелей, запропоновано структуру та розрахункову схему енергетичної комірки, що дає змогу використовувати кількість панелей від 2 до 10 з забезпеченням необхідної якості вихідної напруги. Розроблено алгоритм керування коміркою для однопроцесорної схеми, що дає можливість забезпечити всі режими роботи комірки з необхідними параметрами вихідної напруги та зовнішнього зв'язку з центральним комп'ютером. Бібл. 4, рис. 5, таблиця.