

І.С. ВАРШАМОВА, м.н.с., НТУ "ХПИ", Харків
О.А. ГЕЛЯРОВСКАЯ, ст. преподаватель, НТУ "ХПИ", Харків
Н.В. КРЮКОВА, ст. преподаватель, НТУ "ХПИ", Харків
В.С. ЛУПИКОВ, д-р техн. наук., проф., зав. каф., НТУ "ХПИ",
Харків
Ю.Д. РУДАС, с.н.с., НТЦ МТО НАН України, Харків
К.А. САВЧЕНКО, студент, НТУ "ХПИ", Харків

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Приведено результати аналізу рівнів зовнішнього магнітного поля електричних підстанцій. Обґрунтовано можливості використання параметричних систем автоматичної компенсації їх магнітного поля.

Приведены результаты анализа уровней внешнего магнитного поля электрических подстанций. Обоснованы возможности использования параметрических систем автоматической компенсации их магнитного поля.

Введение. Электрические подстанции (ЭП) являются электроустановками, предназначенными для преобразования и распределения электроэнергии. В жилых зонах городов они используются в виде трансформаторных подстанций и распределительных устройств. Такие ЭП представляют собой совокупность разнообразного электрооборудования (ЭО): трансформаторов (Тр), распределительных шкафов либо устройств (РУ), шинопроводов, кабелей, кабельных вводов, электрических аппаратов (ЭА). При работе ЭО создает внешнее магнитное поле (ВМП) в основном на частоте сети (50 Гц), которое присутствует как внутри, так и снаружи ЭП. Это поле действует на людей и на технические средства – электрические аппараты защиты, управления и автоматики. В первом случае существует проблема экологической безопасности человека при действии так называемого биотропного магнитного поля [1, 2], во втором – проблема электромагнитной совместимости [3, 4], при действии ВМП на чувствительные к нему технические средства. Общеизвестно, что уменьшение уровня ВМП обеспечивает решение обеих проблем.

Цель работы – обоснование перспектив применения автоматической компенсации магнитного поля электрических подстанций.

Анализ уровней ВМП электрических подстанций. Особенностью современных городов является то, что ЭП располагаются непосредственно в местах, где поблизости постоянно находятся люди. Например, вблизи жилых домов либо в самих домах на первом этаже. В рамках проблемы экологической безопасности рассматривается комплекс вопросов относительно определения влияния ВМП на человека и разработки мероприятий и методов его снижения. Население и персонал ЭП по роду своей работы или деятельности вынуждены находиться длительное время в условиях действия этого ВМП. Длительное воздействие ВМП на человека негативно влияет на его психику, приводит к расстройству нервной и сердечнососудистой систем, снижает работоспособность человека [5]. Научные исследования по проблеме БМП проводятся во всех развитых странах мира, в том числе в Украине, России, странах Европы, США, Японии, Канаде. Для примера, действующие нормы по уровню БМП частоты сети для разных стран составляют: Украина (государственные санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей, зарегистрированы в Министерстве юстиции Украины 13 марта в 2003 г. за № 203/7524) – 1750 мкТл; Россия (СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях"), Европа (Стандарт ICNIRP), Великобритания (стандарт NRPB) – 100 мкТл; Швеция (государственный стандарт MPR 1990:08. Swedish Board for Technical Accreditation) – 0,25 мкТл. В Украине ведется подготовка к введению нормы в 0,5 мкТл.

Резкое снижение нормы ВМП в Украине обусловлено изменением концепции формирования его предельных уровней. Предыдущая концепция строилась исходя из условия снижения ВМП до уровня, при котором наведенные этим полем токи в теле человека не превышают токов неотпускания. В соответствии с новой концепцией ограничение уровня ВМП определяется санитарными нормативами, то есть отсутствием вредного действия поля на клетки и органы человека. В этих условиях изменяется и подход к ЭП как источникам ВМП.

Для решения проблемы электромагнитной совместимости Международная ассоциация защиты от излучения (IRPA/INICR) произвела рекомендации из применения в европейских странах допустимых и предельно допустимых уровней напряженности ВМП в производственных и непромышленных условиях, на основе которых разрабатываются национальные стандарты. Применяемые в разных странах допустимые уровни ВМП отличаются по величине: 10^{-6} - 10^{-4} Тл (0,8-80 А/м).

Анализ методов и средств снижения ВМП. Первые работы по снижению ВМП ЭО на промышленном уровне связаны с проблемой магнитной защиты кораблей от минного оружия [6]. Основные усилия были направлены на разработку конструктивных и технологических средств снижения ВМП отдельных элементов ЭО. Не углубляясь в тему, можно констатировать ограниченные возможности такого подхода, поскольку технология производства не позволяла обеспечить снижения ВМП ЭО более чем в десять раз без многократного повышения его стоимости. Накопленный в Украине опыт работ из снижения ВМП разнообразного ЭО [7-13] позволили вывести эту проблему на новый уровень и существенно улучшить ситуацию за счет снижения ВМП с помощью параметрических систем автоматической компенсации (САК). Создаваемое ими компенсирующее ВМП приближено по пространственной и временной структуре к ВМП ЭО, но имеет противоположное направление в пространстве. Вследствие этого результирующее ВМП удается снизить в несколько десятков раз [14]. Разработки охватывают весь спектр ЭО, который используется на ЭП. Похожая САК применена для снижения ВМП ЭП в библиотеке Гетеборга (Швеция) [15]. Эффективность снижения ВМП теоретически достигает 100-300 единиц.

Перспективы использования САК. На практике эффективность снижения ВМП существенно ограничивается и достигает 2-20 единиц, причем это удастся достичь лишь при условии индивидуальной настройки САК ВМП. Такая технология снижения ВМП может быть использована только для отдельных единиц ЭО. Но и в этом случае известные методы и технические решения обеспечивают необходимую компенсацию ВМП только в области внешнего пространства относительно ЭО на расстоянии более трех габаритов [16].

Как показывает анализ, в первую очередь это обусловлено сложной пространственной и временной структурой ВМП ЭО. Эти сложности в полной мере проявляются в том, что математическая модель ЭО существенно усложняется. При использовании этой модели методы определения параметров ЭО по данным расчета и измерения поля также получаются сложными. Выполненные в последнее время исследования [17-23] показали также, что кроме этих сложностей существует ряд особенностей, которые обычно не учитывались в модели поля ЭО. К ним относятся:

- влияние порядка чередования фаз трехфазного ЭО на величину его ВМП (магнитофазный эффект) при прочих равных условиях;
- нелинейные зависимости поля электромагнитов компенсаторов

с ферромагнитным сердечником от токов, обусловленные нелинейными и неоднозначными характеристиками кривой намагничивания и петли гистерезиса материала сердечника;

- зависимость характеристик катушки электромагнита компенсатора магнитного поля от времени при длительном нагреве до установившегося состояния.

Наконец, с увеличением числа параметров существенно усложняются алгоритмы настройки САК.

Учет всех перечисленных параметров и особенностей при снижении ВМП ЭП представляет собой сложную научно-техническую задачу. Ее решение возможно при использовании САК, структура которых должна быть усовершенствована. Эти усовершенствования связаны с учетом следующих дополнений:

- применение алгоритмов с запоминанием параметров при настройке САК;
- учет порядка чередования фаз питания трехфазного ЭО ЭП;
- учет нелинейных зависимостей параметров ЭО и электромагнитов компенсаторов САК от времени работы в одном и том же режиме;
- учет нестационарного характера помех при стендовой настройке параметров САК по данным магнитных измерений;
- применение алгоритмов, которые обеспечивают коррекцию параметров САК в процессе ее работы.

Обобщенная структура параметрической САК с учетом этих дополнений приведена на рис. 1.

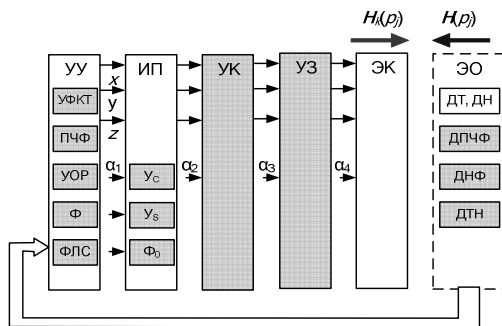


Рис. 1. Обобщенная структура параметрической САК ВМП ЭО.

По сравнению с известной структурой САК [16], новые элементы отмечены затенением. В структуру ЭО введены новые блоки: ДПЧФ –

датчик порядка чередования фаз токов; ДНФ – датчик начальной фазы; ДТН – датчики температуры нагрева. В устройство управления УУ введены новые блоки: УФКТ – устройство формирования контурных токов; ПЧФ – устройство, которое определяет порядок чередования фаз; УОР – устройство ортогонального разложения сигналов датчиков тока ДТ и датчиков напряжения ДН на косинусные и синусные составляющие; Ф – устройство, которое обеспечивает сдвиг фазы относительно базовой (для ЭО с синусоидальными токами); ФЛС – устройство формирования сигналов Fuzzy logic. В ИП введены новые блоки: $У_c$ – усилитель косинусной составляющей тока; $У_s$ – усилитель синусной составляющей тока; $Ф_0$ – устройство, которое обеспечивает формирование синусных и косинусных составляющих токов относительно базовой фазы. В структуру также введено два новых устройства: УК – устройство коррекции входных сигналов электромагнитов компенсаторов; УЗ – устройство запоминания. Параметры регулирования обозначены: α_1 – коэффициенты передачи усилителей токов устройства ИП; α_2 – коэффициенты передачи УК; α_3 – коэффициенты передачи УЗ; α_4 – коэффициенты пропорциональности. Принцип полной компенсации поясняют встречно направленные и равные по величине векторы напряженности $H_k(p_j)$ и $H(p_j)$ ВМП, создаваемого соответственно САК и ЭО.

Приведенная структура САК отображает только общую связь устройств при формировании токов ЭК. Конкретная реализация и выбор блоков осуществляется для каждого вида ЭО отдельно.

Выводы. 1. По результатам анализа состояния проблем экологической безопасности и электромагнитной совместимости на электрических подстанциях установлено, что существующие в Украине существенно выше, чем в развитых странах мира. Для достижения мировых требований необходимо существенное снижение уровня внешнего магнитного поля частоты сети, с 1750 до 0,5 мкТл.

2. Накопленный опыт работ по снижению внешнего магнитного поля корабельного оборудования при решении проблемы магнитной защиты кораблей от минного оружия позволяет использовать как базовые разработки методы и средства снижения поля. Наиболее перспективным является метод автоматической компенсации.

3. Для реализации метода автоматической компенсации при снижении внешнего магнитного поля электрооборудования электрических подстанций предложен ряд усовершенствований структуры параметрических систем автоматической компенсации, направленных на повышение их эффективности. Эти усовершенствования учитывают не-

линейные характеристики электрооборудования и электромагнитов компенсаторов системы компенсации, порядок чередования фаз трехфазного электрооборудования и особенности алгоритмов формирования компенсирующих сигналов в системе компенсации.

Список литературы: 1. *Любимов В.В.* Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. (Аналитический обзор). Препринт No. 7 (1103). – М.: ИЗМИРАН, 1997. – 85 с. 2. *Холодов Ю.А.* Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. – М.: Наука, 1966. – 283 с. 3. ДСТУ 2465-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги та методи випробувань. Введ. 01.01.95. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 29 с. 4. IEC 1000-4-8: 1993. "Electromagnetic compatibility. Part 4: Testing and measuring techniques. – Section 8: Power frequency magnetic field immunity test. Basic EMC Publication". Edition 1.1. – 2001. – 61 p. 5. *Афанасьев А.И., Карпиков И.И.* Методы снижения электрических и магнитных полей промышленной частоты 50 Гц. Справочное руководство. – Фрязино Моск. обл.: ГНПП "Циклон-Тест", 2001. – 47 с. 6. *Григорьев Б.П.* Актуальные проблемы снижения физических полей судов // Труды Международной конференции по судостроению. Секция А. Судовая электродинамика, магнетизм и гидродинамика. – Санкт-Петербург: Изд-во ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1994. – С. 3-7. 7. *Розов В., Волохов С., Луников В. и др.* Технология снижения внешних магнитных полей судового электрооборудования // Труды Второй Международной научно-технической конф. по судостроению (ISC'98). – Том 2. – Санкт-Петербург: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1998. – С. 22-27. 8. *Луников В.С.* Наукові основи технології компенсації магнітного поля поблизу низьковольтних комплектних пристроїв. – Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.09.01 / Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків, 2003. – 36 с. 9. *Розов В.Ю.* Системы автоматической компенсации внешнего магнитного поля энергонасыщенных объектов. – Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.09.03 / Ин-т электродинамики НАН Украины. – Харьков, 2002. – 37 с. 10. *Ерисов А.В., Луников В.С.* Поле рассеяния силового трансформатора вентильного преобразователя при несимметрии углов включения вентилей. – Тр. Всесоюз. науч. исслед. ин-та электромеханики. Т. 77. Вентильные системы. – М.: ВНИИЭМ, 1985. – С. 116-125. 11. *Луников В.С.* Оптимальное использование методов, применяемых для снижения внешнего магнитного поля электрооборудования // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ: Вид-во СУДУ. – 1999. – №6(22). – С. 113-123. 12. *Луников В.С.* Повышение эффективности методов, применяемых для снижения внешнего магнитного поля электрооборудования // Технічна електродинаміка. – 2000. – №1. – С. 7-13. 13. *Луников В.С., Крюкова Н.В., Гелярковская О.А. и др.* Анализ внешнего магнитного поля переменных токов расщепленного шинпровода // Электроинформ. – 2007. – №4. – С. 14-17. 14. *Розов В.Ю.* Анализ эффективности параметрических систем автоматической компенсации внешнего магнитного поля энергонасыщенных объектов

// Техническая электродинамика. – 2002. – №2. – С. 3-10. **15.** *Salinas E.* Field Mitigation from Secondary Substations / Salinas E. // CARIED 2003. 17th International Conference on Electricity Distribution. – Belgium – 15 May 2003. – 32 p. **16.** *Розов В.Ю.* Внешние магнитные поля силового электрооборудования и методы их уменьшения: Препр. / НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 772. – Киев: 1995. – 42 с. **17.** *Лушков В.С., Крюкова Н.В., Гетьман А.В.* и др. Экспериментальное подтверждение магнитофазного эффекта для трехфазного электрооборудования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – №40. – С. 84-94. **18.** *Варшимова И.С., Лушков В.С.* Перспективы применения методов нечеткой логики в системах автоматической компенсации внешнего магнитного поля электрооборудования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – №40. – С. 3-10. **19.** *Варшимова И.С., Лушков В.С., Геляровская О.А.* и др. Оценка изменения сопротивления катушки электромагнита компенсатора при длительном нагреве // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 16. – С. 8-15. **20.** *Король Е.Г., Лушков В.С.* Оценка нелинейности характеристик электромагнита для компенсации магнитного момента электрооборудования (Часть 2) // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 16. – С. 44-54. **21.** *Варшимова И.С., Лушков В.С.* Методика оценки сопротивления катушки электромагнита компенсатора магнитного поля при длительном нагреве до установившегося состояния // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – 2010. – № 36. – С. 27-35. **22.** *Варшимова И.С.* Способ автоматической компенсации внешнего магнитного поля электротехнических устройств с несинусоидальными токами // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – 2011. – № 12. – С. 17-25. **23.** *Геляровская О.А., Лушков В.С., Варшимова И.С.* и др. Моделирование компенсированного магнитного поля автоматического выключателя // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – 2011. – № 48. – С. 14-22.

*Поступила в редколлегию 10.12.2011
Рецензент д.т.н., проф. Болюх В.Ф.*