

М.Н. ТОКАРЬ, студент НТУ "ХПИ", Харьков

В.С. ЛУПИКОВ, д-р тех. наук., проф., зав. каф., НТУ "ХПИ", Харьков

О.А. ГЕЛЯРОВСКАЯ, ст. преп., НТУ "ХПИ", Харьков

Н.Н. ЯСНИЦКАЯ, канд. физ.-мат. наук., проф., НТУ "ХПИ", Харьков

И.В. ПОЛЯКОВ, канд. тех. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

О.Ю. ПИЛЮГИНА, канд. тех. наук, ученый секретарь, НТЦМТО НАН Украины, Харьков

Ю.Д. РУДАС, канд. тех. наук, с.н.с., НТЦМТО НАН Украины, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ТОКОПРОВОДОМ НИЗКОВОЛЬТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Distribution of the power frequency magnetic field maximum strength created by system of three-phase conductors in the low-voltage switchboard is computed in points of test flat at 0,3 m distance from its face sheet. Comparison of the field maximum on conformity to existing and perspective requirements is spent.

Рассчитано распределение максимума напряженности переменного магнитного поля, создаваемого системой трехфазных токопроводов низковольтного распределительного устройства в точках контрольной плоскости на удалении 0,3 м от лицевой стороны шкафа. Проведено сравнение максимума поля на соответствие существующим и перспективным требованиям.

Розраховано розподіл максимуму напруженості змінного магнітного поля, що створюється системою трифазних струмопроводів низьковольтного розподільного пристрою в точках контрольної поверхні на віддаленні 0,3 м від лицьової сторони шафи. Проведено порівняння максимуму поля на відповідність існуючим і перспективним вимогам.

Введение. В современной энергетике широко применяются низковольтные распределительные устройства (РУ). При работе РУ в окружающем пространстве создается внешнее магнитное поле (ВМП). В большинстве случаев это ВМП имеет частоту сети 50 Гц. Это ВМП оказывает негативное влияние на человека [1, 2]. В этой связи в промышленно развитых странах мира проводится ряд исследований, на-

правленных на снижение уровня ВМП. Действующие нормы по уровню ВМП частоты сети в разных странах составляют: Украина – 1750 мкТл; Россия, Великобритания – 100 мкТл; Италия – 3 мкТл [3]; Швеция – 0,25 мкТл. В ближайшей перспективе в Украине предполагается введение нормы 0,5 мкТл (перспективные требования, 0,63 А/м). С учетом предполагаемого резкого ужесточения требований по уровню ВМП в Украине необходимо изменить и подход к РУ как источникам ВМП и выбору средств его снижения. Известные оценки эффективности снижения ВМП в основном относятся к достаточно большим удалениям от поверхности РУ, порядка нескольких метров. При этом в качестве основного параметра, характеризующего источник поля, используется магнитный момент. В [4] приводятся данные по эффективности снижения магнитного момента, которая оценивается величиной порядка 100 единиц. Эффективность снижения ВМП теми же методами вблизи РУ существенно ниже. В работе [5] приведена расчетная оценка метода транспонирования токопроводов автоматического выключателя, которая дает снижение величины эффективности более чем на порядок. Такие же результаты дают и исследования за рубежом [6]. В этой связи актуальными становятся вопросы повышения эффективности снижения ВМП вблизи поверхности РУ. На стадии проектирования при этом обычно используется математическое моделирование.

Цель работы – анализ ВМП реального РУ по данным математического моделирования.

Условия моделирования. В качестве объекта исследований выбрано РУ (рис. 1), находящееся в эксплуатации в Научно-техническом центре магнетизма технических объектов НАН Украины (г. Харьков).

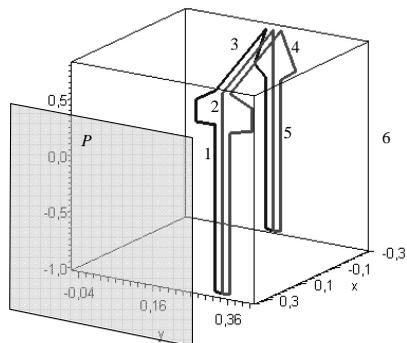


Рис. 1. Схема токопроводов силовой цепи РУ.

Конструктивно данное РУ представляет собой шкаф с размерами: длина – 0,6 м, ширина – 0,8 м, высота 2 м, внутри которого расположены автоматические выключатели (АВ) и кабели. Для моделирования выбрана упрощенная 1. На схеме показана силовая цепь РУ, представленная двумя контурами с токами фаз А и С. Номинальный ток РУ равен 90 А. Для анализа ВМП, создаваемого токопроводами

трехфазной цепи, рассматривалось распределение максимальных величин его напряженности на контрольной плоскости, параллельной передней панели шкафа РУ и удаленной от нее на расстояние 0,3 м. Такое минимальное расстояние предусмотрено действующим стандартом [7]. На схеме использованы обозначения: 1 – кабель питания; 2 – АВ ввода питания; 3 – соединительный кабель; 4 – токопроводы АВ загрузки; 5 – кабель загрузки; 6 – каркас шкафа РУ. Поле рассматривалось на контрольной плоскости P , параллельной передней панели шкафа РУ и удаленной от нее на расстояние 0,3 м, предусмотренное действующим стандартом [7].

Методика моделирования. Для моделирования использована методика, приведенная в работе [5]. Суть методики заключается в том, что рассчитываются максимальные мгновенные величины вектора напряженности ВМП в каждой точке контрольной поверхности. Максимальные величины напряженности в каждой точке достигаются не одновременно, а в различные моменты времени в течение периода частоты сети. Такое представление переменного поля не меняется в течение периода и повторяется во времени, что дает возможность оценить максимум напряженности поля и может быть использовано для сравнения с требованиями.

Допущения, принимаемые при использовании методики:

- предполагается, что режим работы РУ установившийся;
- переменные токи фаз трехфазной цепи синусоидальные, имеют одинаковую амплитуду и сдвинуты во времени на $2\pi/3$ рад;
- проводники с объемным распределением тока для такого удаления (0,3 м) могут быть представлены в виде линий, проходящих по их продольным осям [6].

Методика включает расчет трех компонент вектора напряженности ВМП для каждого контура с током, равным 1 А без учета фазы (приведенные компоненты напряженности), разложение токов контуров на синусные и косинусные составляющие, расчет синусных и косинусных составляющих компонент векторов напряженности ВМП путем перемножения удельных компонент векторов напряженности и составляющих токов (полные компоненты напряженности), суммирования полных компонент напряженности в каждой точке от двух контуров, расчет модулей синусных и косинусных составляющих компонент векторов напряженности ВМП и определение мгновенной максимальной величины H суммарного вектора напряженности ВМП в каждой точке контрольной плоскости. Моделирование проведено с использованием математической системы Maple.

Результаты моделирования. Результаты расчета максимальных величин напряженности ВМП на контрольной плоскости P представлены на рис. 2. Максимум напряженности равен 30 А/м.

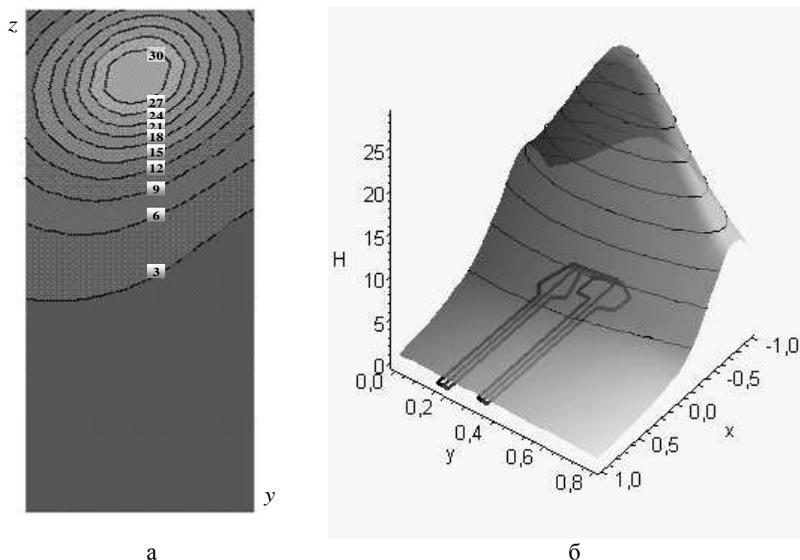


Рис. 2. Распределение максимальных величин напряженности ВМП на контрольной плоскости: а – в виде линий одинакового уровня, ограничивающих участки равной величины напряженности; б – в виде поверхности уровня поля.

Число линий уровня на рис. 2,а равно 10, уровни поля распределены равномерно. На рис. 2,б совмещены изображения поверхности уровня и контуров силовой цепи РУ. Для наглядности на поверхность уровня нанесены изолинии. Особенности построения поверхности уровня и геометрии контуров в системе Maple является то, что эта поверхность строится на горизонтальной плоскости, и при этом масштабы по вертикальной оси для напряженности поля и геометрических размеров совпадают. Для упрощения построений в работе контуры трехфазной цепи РУ и контрольная плоскость повернуты таким образом, что последняя расположена горизонтально.

Анализ результатов моделирования. Распределение поля на рис. 2,б более наглядное и информативное по сравнению с распределением на рис. 2,а.

Как видно на рис. 2,б, максимальная величина поля достигается в пространственном направлении напротив ближайшего к этой плоскости выключателя – АВ ввода питания. Это дает основание предположить, что именно этот АВ является основным источником поля.

Для проверки этого предположения путем моделирования поля этот АВ был условно исключен. Результаты моделирования для этого случая приведены на рис. 3.

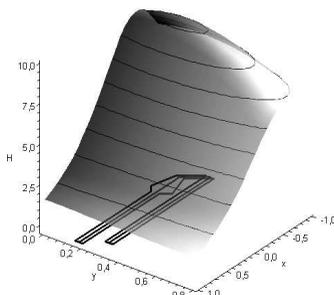


Рис. 3. Распределение максимальных величин составляющих поля РУ без учета АВ ввода питания.

Максимальная величина напряженности ВМП в этом случае уменьшилась с 30 до 10,2 А/м.

Выводы. 1. Проведено математическое моделирование переменного магнитного поля, создаваемого токопроводами низковольтного распределительного устройства на контрольной плоскости, удаленной на 0,3 м от лицевой стороны шкафа. По результатам анализа установлено, что максимальная мгновенная величина напряженности поля составляет $30 \text{ А}\cdot\text{м}^2$, что соответствует индукции 25 мкТл. Эта величина не превышает действующие требования (1750 мкТл) и существенно выше перспективных норм (0,5 мкТл). Для обеспечения перспективных требований необходимо снижение максимального уровня распределительного устройства в 60 раз.

2. Предложена методика визуализации внешнего магнитного поля распределительного устройства. Новыми элементами методики являются представление распределения поля на контрольной поверхности в виде поверхности уровня для максимальных мгновенных величин вектора напряженности, построение и совмещение поверхности уровня и конфигурации контуров силовой цепи в одном 3D изображении. Методика позволяет анализировать поле и связывать его с источника-

ми поля. В частности, на основе моделирования установлено, что для данного распределительного устройства и выбранной контрольной плоскости основным источником поля является автоматический выключатель ввода питания, расположенный ближе всего к контрольной плоскости.

Список литературы: 1. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие. Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. – 146 с. 2. Любимов В.В. Искусственные и естественные электромагнитные поля в окружающей человека среде и приборы для их обнаружения и фиксации. – Препр. №11 (1127). – Троицк: ИЗМИРАН, 1999. – 28 с. 3. D'Amore M., Grifa S., Maradey F. Shielding techniques of power frequency magnetic field aboard high speed train: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://w3.uniroma1.it/maradei/Pubblicazioni / ACI-19.pdf>. 4. Лушков 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. 5. Лушков В.С., Варшамова И.С., Гелярская О.А., Крюкова Н.В. и др. Моделирование магнитного поля автоматического выключателя с транспонированным токопроводом // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 3. – С. 29-36. 6. Salinas E. Mitigation of Power-Frequency Magnetic Fields with Applications to Substation and Other Parts of the Electric Network / E. Salinas // Department of Electric Power engineering, Chalmers University of Technology. – Gothenburg. – 2001. – 149 p. 7. 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.

*Надійшла до редколегії 04.03.2012.
Рецензент д.т.н., проф. Болюх В.Ф.*