

М.М. РЕЗИНКИНА, д-р техн. наук, гл.н.с., Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины, Харьков
В.С. ГРИНЧЕНКО, аспирант, Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины, Харьков

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ТОКОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ЭКРАНАМИ, СОСТОЯЩИМИ ИЗ U-ОБРАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены технические решения по повышению эффективности экранирования магнитного поля подземных трехфазных токопроводов и высоковольтных кабелей. Предложена конфигурация электромагнитного экрана, состоящего из двух U-образных проводящих элементов, и определено их оптимальное взаимное расположение. Показано, что при толщине стенок 1-2 мм эффективность экранирования магнитного поля трехфазного токопровода экраном, состоящим из двух U-образных элементов, на 15-20 % выше эффективности экранирования экранами известных конфигураций эквивалентного объема.

Ключевые слова: экранирование, высоковольтные кабели, электромагнитный экран.

Введение. В настоящее время для обеспечения электроэнергией жителей городов широко применяются подземные кабельные линии электропередачи (КЛ). Глубина прокладки токопроводов КЛ составляет 1-1,5 м, сила тока в них – 500-1000 А. Поэтому магнитное поле (МП) промышленной частоты, создаваемое подземными токопроводами и высоковольтными кабелями, оказывается достаточным, чтобы представлять потенциальную опасность для здоровья людей. Всемирная Организация Здравоохранения рекомендует предприятиям максимально снижать уровень МП [1]. В некоторых случаях удается уменьшить величину магнитной индукции поля систем токопроводов за счет применения таких конструктивно-технологических методов как расщепление фаз [2] или транспортирование [3]. Если же применение этих методов затруднительно или оно не приводит к снижению магнитной индукции до нормируемого уровня, то прибегают к электромагнитному экранированию.

Анализ известных конструкций экранов. В литературе рассмотрены следующие типы электромагнитных экранов (рис. 1): плоские (а), замкнутые (б), U-образные (в) и L-образные (г) [4-9]. В работах [4, 5] показано, что U-образные электромагнитные экраны обеспечивают большую эффективность экранирования МП трехфазных токопроводов по сравнению с другими типами экранов эквивалентного объема.

© Резинкина М.М., Гринченко В.С., 2012

Помимо экранов, представленных на рис. 1, в некоторых работах рассматривались V-образные, W-образные конфигурации [10] и замкнутые экраны с неплотными стенками [9]. Однако широкого распространения экраны таких конфигураций не получили, т.к. при своей конструктивной сложности их экранирующие свойства не превосходят экранирующих свойств U-образных экранов.

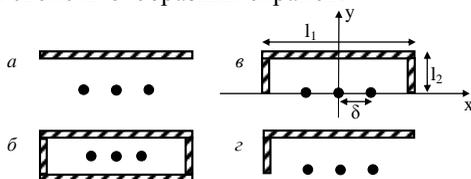


Рис. 1. Типы электромагнитных экранов: плоские (а), замкнутые (б), U-образные (в) и L-образные (г).

Некоторые авторы отдают предпочтение плоским экранам, объясняя это простотой их производства, монтажа и дальнейшего обслуживания токопроводов [8]. Но для повышения эффективности экранирования МП токопроводов при сохранении металлоемкости экранов необходимо применять их более совершенные конструкции, в частности, имеющие U-образные конфигурации.

Целью работы является исследование эффективности экранирования МП трехфазного токопровода системой двух U-образных проводящих элементов в зависимости от их толщины и взаимного расположения.

Определение оптимального расположения U-образных экранирующих элементов. Исходя из литературных данных [3-10], выберем характерные параметры подземного трехфазного токопровода: пусть межфазное расстояние $\delta=20$ см, амплитуда тока в фазах токопровода равна 500 А. Будем полагать, что кабельная линия находится под землей на характерной глубине 1 м.

Для снижения МП трехфазного токопровода предлагается использовать электромагнитный экран, состоящий из двух алюминиевых U-образных элементов. Такой элемент имеет три геометрических параметра: толщина стенок d , ширина верхней стенки l_1 и высота боковых стенок l_2 (рис. 1, в). Увеличение ширины экрана l_1 , и вместе с этим отношения l_1/δ , повышает эффективность экранирования МП трехфазного токопровода. Однако ширина экрана l_1 ограничена размерами кабельного канала и обычно не превышает четырехкратного расстояния между фазами трехфазного токопровода [4-8]. Увеличение высоты боковых стенок l_2 также повышает эффективность экранирования МП токопроводов [4]. Как правило, высота боковых стенок экрана, выбирается равной расстоянию от токопроводов до верхней стенки экрана, которое в свою очередь равно δ [4, 5]. В этом случае нижний край эк-

рана достигает плоскости расположения токопроводов, что облегчает доступ токопроводам КЛ.

Будем рассматривать электромагнитный экран, состоящий из двух алюминиевых U -образных элементов шириной $l_1=4\delta$ и высотой $l_2=\delta$. Положение нижнего элемента экрана определено: его нижний край достигает плоскости расположения трехфазного токопровода. Путем численного моделирования определим оптимальное положение верхнего U -образного элемента. Для исследования электромагнитных процессов в системе, содержащей трехфазный токопровод и два U -образных экранирующих элемента, воспользуемся математической моделью, описанной в [11]. Толщину элементов положим равной $d=1$ мм и будем варьировать расстояние b между ними от 20 см до 60 см. На рис. 2, а-в представлены рассчитанные распределения линий равных действующих значений магнитной индукции ($B=5-500$ мкТл) поля трехфазного токопровода при наличии двух U -образных экранирующих элементов, когда расстояние между ними составляет $b=\delta=20$ см (рис. 2,а), $b=2\cdot\delta=40$ см (рис. 2,б) и $b=3\cdot\delta=60$ см (рис. 2,в).

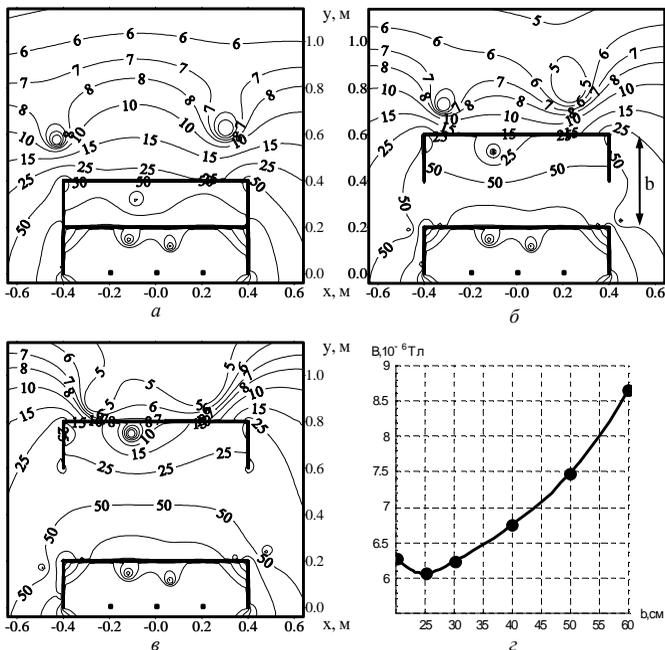


Рис. 2. Распределения линий равных действующих значений магнитной индукции (а-в) и показана зависимость максимального действующего значения магнитной индукции (г)

На рис. 2,з показана зависимость максимального действующего значения магнитной индукции поля трехфазного токопровода на расстоянии 1 м (равной характерной глубине его прокладки) при наличии электромагнитного экрана, состоящего из двух U -образных элементов, от расстояния b между этими элементами. Как видно из представленного графика, действующее значение магнитной индукции достигает минимума, когда расстояние между U -образными элементами равно 25 см. Тем не менее, максимальное значение магнитной индукции на уровне 1 м над трехфазным токопроводом, когда расстояние между элементами равно $b=\delta=20$ см, превышает максимальное значение магнитной индукции при $b=25$ см всего на 3%. Если расстояние b между элементами положить равным δ , то $b=l_2=\delta$. Такой экран конструктивно проще, т.к. его верхний U -образный элемент будет опираться на нижний. Таким образом, оптимальным является расположение U -образных экранирующих элементов, представленное на рис. 2,а.

Исследование зависимости эффективности экранирования МП трехфазного токопровода U -образными экранами от толщины их стенок. Варьируя толщину стенок экранирующих элементов, исследуем эффективность экранирования МП трехфазного токопровода экранами, состоящими из одного (рис. 1,б) и двух U -образных алюминиевых элементов (рис. 2,а). В таблице для каждого из этих экранов приведены значения толщины стенок (d), площади поперечного сечения экрана (S), которая прямо пропорциональна его объему, величины, до которой снижена магнитная индукция поля токопровода (B) на высоте 1 м над экранируемым трехфазным токопроводом, и эффективности экранирования SF в точке максимальной магнитной индукции. Эффективность экранирования SF определяется как отношение действующего значения магнитной индукции в точке наблюдения в отсутствие экрана к действующему значению магнитной индукции при его наличии.

Таблица – Параметры каждого из представленных экранов

U -образный экран			S , см ²	экран, состоящий из двух U -образных проводящих элементов		
d , мм	B , мкТл	SF		d , мм	B , мкТл	SF
1,5	9,5	3,5	18	0,75	9,1	3,6
2	7,5	4,4	24	1	6,4	5,1
3	5,5	6,0	36	1,5	4,8	5,7
4	4,6	7,1	48	2	4,2	6,5
6	3,8	8,0	72	3	3,7	7,5

Из приведенной таблицы следует, что экран, состоящий из двух U -образных элементов, обладает большей эффективностью экраниро-

вания по сравнению с U -образным экраном эквивалентного объема.

Качественно этот эффект можно объяснить следующим образом. При снижении уровня МП различают экранирование защищаемой области и экранирование источника поля [4]. Первый подход применим, если требуется снизить уровень поля в локальной области, для снижения МП токопроводов используют второй подход. Применение электромагнитного экрана, состоящего из двух U -образных элементов, позволяет объединить эти два подхода: экран находится возле трехфазного токопровода, но его верхний U -образный элемент расположен ближе к части экранируемого пространства, где уровень МП источника изначально выше, тем самым, обеспечивая в этой области большее его снижение.

Выводы. В результате проведенных исследований предложена конструкция электромагнитного экрана, состоящего из двух расположенных друг над другом U -образных проводящих элементов, ширина которых в 4 раза превосходит межфазное расстояние, высота боковых стенок элементов равна межфазному расстоянию, а край нижнего элемента достигает плоскости расположения токопроводов. Показано, что применение таких экранов толщиной 1-2 мм позволяет на 15-20 % увеличить эффективность экранирования МП трехфазного токопровода по сравнению с однослойным U -образными экранами эквивалентного объема.

Список литературы: 1. World Health Organization International EMF Project "Electromagnetic Fields and Public Health: Extremely low frequency fields and cancer." – October, 2001. – Fact Sheet № 263. 2. *Позов В.Ю.* Особенности снижения внешних магнитных полей распределительных устройств и полупроводниковых преобразователей / *Позов В.Ю., Ерусов А.В., Лутиков В.С.* – К. Институт электродинамики, 1996. – 47 с. – (Препринт / НАН Украины, Ин-т электродинамики; № 791). 3. *Mimos E.I.* Optimum phase configurations for the minimization of the magnetic fields of underground cables / *E.I. Mimos, D.K. Tsanakas, A.E. Tzinevrakis* // *Electrical engineering.* – 2010. – № 91. – Pp. 327-335. 4. *Zucca M.* Magnetic field mitigation above a double trefoil HV underground power line / *M. Zucca, P. Ribaldone* // 18th International Conference on Electricity Distribution, 6-9 June 2005. – Turin, 2005. – Paper 91. 5. *del Pino López J.C.* Parametric analysis of magnetic field mitigation shielding for underground power cables / *J.C. del Pino López, P. Cruz Romero, P. Dular* // International conference on renewable energies and power quality, 28-30 Mach, 2007. – Sevilla, 2007. – Paper 326. 6. *Beltran H.* Optimal screen width for field reduction applications of low frequency magnetic fields in three-phase conductors / *H. Beltran, V. Fuster, C. Garcia, V. Ferrer, I. Piqueras* // 9 Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica. – Marbella, Málaga, 2005. – Paper 236. 7. *Salinas E.* Some 2D-3D aspects of shielding of longitudinal sources of extremely low frequency magnetic fields / *E. Salinas, M. Rezinkina, J. Atalaya* // *Environmentalist.* – 2009. – Vol. 29, № 2. – P. 141-146. 8. *Bascom C.* Magnetic field management considerations for underground cable duct bank / *C. Bascom, J. Cooper, W. Banker, R. Piteo, A. Regan, S. Boggs* // The transactions of the IEEE Transmission & Distribution Conference and Exposition, 9-14

October 2005. – New Orleans, Louisiana, 2005 – Paper 05TD0399. **9.** *Cisu M.* Magnetic field in encapsulated bus-bars / *M. Cisu, M.O. Popescu* // Universitatea Politehnica Bucuresti Buletin Stintific. – 2011. – Series C, Vol. 73, Iss. I. – P. 129-142. **10.** *Cardelli E.* Nonferromagnetic open shields at industrial frequency rate / *E. Cardelli, A. Faba, A. Pirani* // IEEE transactions on magnetics. – 2010. – V. 46, № 3. – P. 889-898. **11.** *Резинкина М.М.* Расчетный выбор параметров электромагнитных экранов сложной пространственной конфигурации / *М.М. Резинкина, А.А. Щерба, В.С. Гринченко, К.О. Резинкина* // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 1. – С. 10-16.

Поступила в редколлегию 07.10.2012

УДК 621.3.013

Снижение уровня магнитного поля подземных токопроводов электромагнитными экранами, состоящими из U-образных элементов / Резинкина М.М., Гринченко В.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2012. – № 49 (955). – С. 73-78. Бібліогр.: 11 назв.

Розглянуті технічні засоби з підвищення ефективності екранування магнітного поля підземних трифазних токопроводів та високовольтних кабелів. Запропонована конфігурація електромагнітного екрану, що складається із двох U-подібних провідних елементів, і визначено їх оптимальне взаємне розташування. Показано, що при товщині стінок 1-2 мм ефективність екранування магнітного поля трифазного токопроводу екраном, що складається із двох U-подібних елементів, на 15-20 % вище за ефективність екранування екранами відомих конфігурацій еквівалентного об'єму.

Ключові слова: екранування, високовольтні кабелі, електромагнітний екран.

Technical solutions to improve the efficiency of the screening of the magnetic field of three-phase current conductors and underground high-voltage cables are considered. A configuration of the electromagnetic screen, consisting of two U-shaped conductive elements is proposed, and their optimal relative position is determined. It is shown that with a wall thickness of 1-2 mm, the efficiency of the screening of the magnetic field of a three-phase current conductor by a screen, held on two U-shaped elements is 15-20% higher than efficiency of the screening by screens of known configurations of equivalent volume.

Keywords: screening, high-voltage cables, electromagnetic screen.