

УДК 621.315.2:537.811

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

В.Ю. Розов*, чл.- корр. НАН Украины, П.Н. Добродеев, канд.техн.наук, А.В. Ерисов, А.О. Ткаченко
 ГУ “Институт технических проблем магнетизма НАН Украины”,
 ул. Индустриальная, 19, Харьков, 61106, Украина. E-mail: office.ntcmto@nas.gov.ua

Предложен метод повышения эффективности экранирования магнитного поля кабельных линий в зоне двустороннего заземления экранов одножильных кабелей, основанный на увеличении индуктивности замкнутых экранных контуров за счет использования дополнительных ферромагнитных сердечников, охватывающих кабели. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, подтверждающие 2-4-кратное повышение эффективности экранирования при использовании метода. Даны рекомендации по выбору величины вносимой индуктивности в зависимости от требуемого коэффициента экранирования, параметров кабелей и протяженности экранируемой зоны. Библ. 5, рис. 5.

Ключевые слова: кабельная линия, магнитное поле, экранный контур, ферромагнитный сердечник.

При прокладке трехфазных высоковольтных кабельных линий (КЛ) с изоляцией из сшитого полиэтилена [1, 2] может возникать проблема превышения санитарных норм по магнитному полю (МП) в зоне жилой застройки. Одним из методов ее решения является зональное экранирование МП КЛ, которое в простейшем случае может быть выполнено путем двустороннего заземления экранов кабелей КЛ (рис. 1, а), когда замкнутые экраны (рис. 1, б) выступают в качестве экранных контуров [3]. При этом достигается коэффициент экранирования $\mathcal{E}=1/m$, который обратно пропорционален определенному в [4] коэффициенту ослабления m МП КЛ. При минимальном расстоянии между кабелями коэффициент экранирования \mathcal{E} не превышает 2, что не всегда достаточно для обеспечения санитарных норм по МП, которые составляют 0,5 мкТл для жилых помещений и 10 мкТл – для зоны жилой застройки [5].

Цель работы заключается в разработке метода повышения эффективности экранирования МП КЛ в зоне двустороннего заземления экранов кабелей.

Значение коэффициента экранирования КЛ при двустороннем заземлении экранов ее кабелей может быть определено на основе полученных в [4] соотношений

$$\mathcal{E} = \frac{|\dot{B}_Ж|}{|\dot{B}_Ж + \dot{B}_Э|} = \frac{\sqrt{(R^*_Э)^2 + (\omega L^*_Э)^2}}{R^*_Э}, \quad (1)$$

где $\dot{B}_Ж$ и $\dot{B}_Э$ – магнитная индукция, создаваемая током жилы и экрана кабеля соответственно; ω – угловая частота; $L^*_Э$ – удельная индуктивность экрана, Гн/км; $R^*_Э$ – удельное активное сопротивление экрана, Ом/км.

Увеличить коэффициент \mathcal{E} можно за счет приближения угла фазового сдвига $\psi_{ЖЭ}$ между $\dot{B}_Ж$ и $\dot{B}_Э$ к 180 эл. град., который в соответствии с [4] можно определить как

$$\psi_{ЖЭ} = \pi - \arctg \frac{R^*_Э}{\omega L^*_Э}. \quad (2)$$

Однако для реальных кабелей значение $\psi_{ЖЭ}$ составляет не более 120 эл. град, что связано

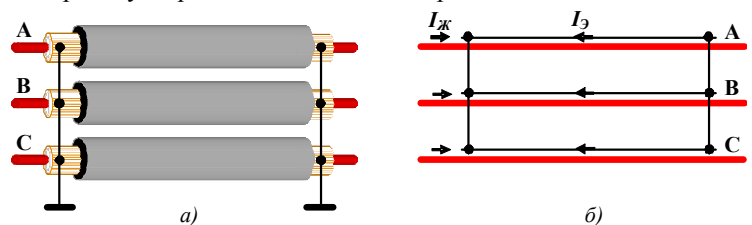


Рис. 1

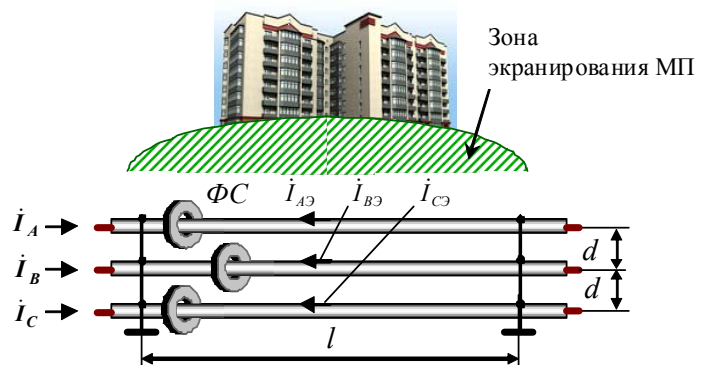


Рис. 2

© Розов В.Ю., Добродеев П.Н., Ерисов А.В., Ткаченко А.О., 2016
 ORCID ID : *http://orcid.org/0000-0001-7265-2030

со значительной величиной соотношения $R_{\Sigma} / \omega L_{\Sigma}$, лежащей в диапазоне $1 \div 2$.

Из (1) и (2) следует, что увеличить значение коэффициента \mathcal{E} можно путем увеличения индуктивности L_{Σ} экранных контуров путем установки на кабели в зоне экранирования l (рис. 2) замкнутых ферромагнитных сердечников (ФС) из шихтованной электротехнической стали.

Коэффициент зонального экранирования \mathcal{E}_3 для рассматриваемого случая определим с учетом внесенной индуктивности $L_{\text{ФС}}$. Переходя в (1) от относительных к абсолютным значениям величин для зоны экранирования протяженностью l , получим

$$\mathcal{E}_3 = \frac{\sqrt{(2lR_{\Sigma}^*)^2 + (\omega(2lL_{\Sigma}^* + L_{\text{ФС}}))^2}}{2lR_{\Sigma}^*}. \quad (3)$$

Для реализации высокого значения коэффициента \mathcal{E}_3 (4 и более) величина индуктивности $L_{\text{ФС}}$ должна быть достаточной для увеличения $\psi_{\text{жэ}}$ до 160 эл. град., что предполагает уменьшение соотношения $2lR_{\Sigma}^* / \omega(2lL_{\Sigma}^* + L_{\text{ФС}})$ до значений $0,5 \div 0,25$. Величина $L_{\text{ФС}}$, необходимая для реализации требуемого значения \mathcal{E}_3 , может быть определена из соотношения (3) и зависит от параметров L_{Σ} и R_{Σ} кабелей, а также протяженности l зоны экранирования.



Рисунок 3

Предложенный метод зонального экранирования МП прошел проверку на экспериментальной установке [4], содержащей физический макет трехфазной КЛ из кабелей типа АПвЭгаПу-110 1x240/70 [2], протяженностью $l = 10$ м. При эксперименте расстояние между осями кабелей составляло 0,2 м; ток КЛ = 95 А; $R_{\Sigma}^* = 0,29 \times 10^{-3}$ Ом/м; $L_{\Sigma}^* = 0,52$ мкГн/м. В качестве ФС использовались статорные сердечники асинхронных электродвигателей длиной 100 мм, внутренним диаметром 72 мм, внешним диаметром 130 мм и одновитковой индуктивностью $L_{\text{ФС}} = 16,12$ мкГн. Количество ФС, устанавливаемых на каждый кабель (рис. 3), варьировалось от 1 до 3, что позволило дискретно изменять индуктивность $L_{\text{ФС}}$ от 16,12 мкГн до 48,36 мкГн с шагом 16,12 мкГн.

Измерение магнитной индукции выполнялось в соответствии с [4] с помощью трехкомпонентного магнитометра EMF-828. Результаты измерений представлены на рис. 4, где обозначено: B – исходная индукция (при разомкнутых экранах кабелей); B_{Σ} – с замкнутыми экранами без ФС; $B_{\Sigma 1}$, $B_{\Sigma 2}$, $B_{\Sigma 3}$ – с ФС (соответственно по 1, по 2 и по 3 сердечника на каждом кабеле). Как следует из рис. 4, введение дополнительной индуктивности $L_{\text{ФС}}$ существенно увеличивает эффективность экранирования.

На рис. 5 представлены полученные на основе эксперимента (рис. 4) значения коэффициента \mathcal{E}_3 (сплошная линия) и его расчетные значения, определенные по соотношению (3) (точки), что подтверждает корректность проведенного выше анализа. Как следует из рис. 4, при увеличении $L_{\text{ФС}}$ (количества ФС) коэффициент \mathcal{E}_3 МП КЛ достигает 2,8 при одном ФС; 4,4 – при 2-х ФС и 5,9 – при 3-х ФС, что экспериментально подтверждает существенный рост эффективности экранирования МП КЛ при использовании предложенного метода экранирования.

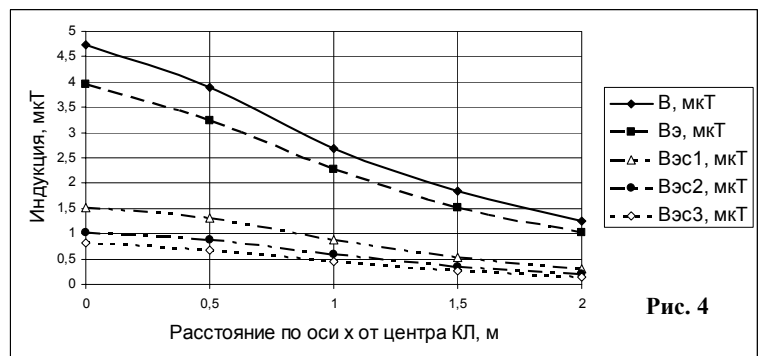


Рис. 4

Таким образом, предложенный метод зонального экранирования, основанный на увеличении индуктивности экранных контуров за счет использования ферромагнитных сердечников, охватывающих кабели, позволяет достичь 2-5-кратного увеличения эффективности экранирования МП в зоне двухстороннего заземления экранов кабелей.

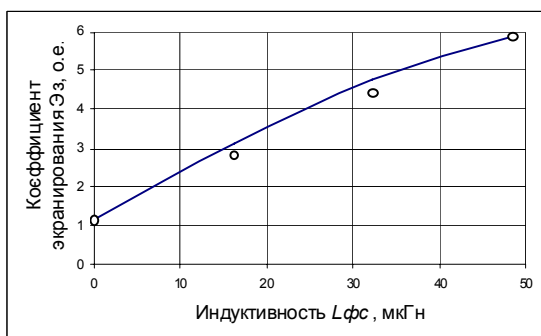


Рис. 5

При этом зависимость коэффициента \mathcal{E}_3 от величины внесенной индуктивности $L_{\text{ФС}}$ (рис. 5) имеет нелинейный характер, что делает целесообразным ограничение верхнего значения индуктивности $L_{\text{ФС}}$, исходя из требуемого значения \mathcal{E}_3 и стоимостных параметров ФС. В исследованном варианте КЛ (рис. 3, 4) оптимальным представляется значение индуктивности около 25 мкГн, что достигается установкой 1-2 ФС на каждый из кабелей КЛ и обеспечивает значение \mathcal{E}_3 не менее 2-4.

Выводы. Предложен метод повышения эффективности экранирования МП в зоне двухстороннего заземления экранов кабелей, основанный на увеличении индуктивности экранных контуров за счет использования дополнительных ферромагнитных сердечников, охватывающих кабели КЛ. Метод позволяет достичь 2–4-кратного увеличения коэффициента экранирования, что имеет теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение.

1. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Электромагнитные процессы в кабельной линии с полиэтиленовой изоляцией на напряжение 330 кВ // Техн. электродинамика. – 2013. – № 1. – С. 9–16.
2. Шидловский А.К., Щерба А.А., Золотарев В.М., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Кабели с полимерной изоляцией на сверхвысокие напряжения. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины. – 2013. – 550 с.
3. J.R. Riba Ruiz, X. Alabern Morera. Effects of the circulating sheath currents in the magnetic field generated by an underground power line // International conference on renewable energies and power quality, 5-7 April, 2006. – Palma de Mallorca, 2006. – 217 p.
4. Розов В.Ю., Квицинский А.А., Добродеев П.Н., Гринченко В.С., Ерисов А.В., Ткаченко А.О. Исследование магнитного поля трехфазных кабельных линий из одножильных кабелей при двустороннем заземлении их экранов // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 56–61.
5. Правила улаштування електроустановок. Мінерговугілля України. – Харків: Форт, 2014. – 793 с.

УДК 621.315.2:537.811

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТУРНОГО ЕКРАНУВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

В.Ю. Розов, чл.-кор. НАН України, П.М. Добродеєв, канд.техн.наук, А.В. Єрисов, О.О. Ткаченко
ДУ «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України»,
вул. Індустріальна, 19, Харків, 61106, Україна.

E-mail: office.ntcmto@nas.gov.ua

Запропоновано метод підвищення ефективності екранування магнітного поля кабельних ліній у зоні двостороннього заземлення екранів одножильних кабелів, заснований на збільшенні індуктивності замкнених екранних контурів за рахунок використання додаткових ферромагнітних осердь, що охоплюють кабели. Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень, що підтверджують 2–4-кратне підвищення ефективності екранування при використанні методу. Дано рекомендації щодо вибору величини внесеної індуктивності в залежності від необхідного коефіцієнта екранування, параметрів кабелів і протяжності зони, що екранується.

Бібл. 5, рис. 5.

Ключові слова: кабельна лінія, магнітне поле, екранний контур, ферромагнітне осердя.

INCREASING THE EFFICIENCY OF CONTOUR SHIELDING OF THE MAGNETIC FIELD OF HIGH-VOLTAGE CABLE LINES

V.Yu. Rozov, P.N. Dobrodeyev, A.V. Erisov, A.O. Tkachenko
State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the NAS of Ukraine»,
Industrialna Str., 19, Kharkiv, 61106, Ukraine.
E-mail: office.ntcmto@nas.gov.ua

Proposed a method for increasing the efficiency of the screening of the magnetic field of cable lines in the area of two-point bonding of single-core cable screens, based on an increase of inductance of the closed screen circuits by using of additional ferromagnetic cores covering the cables. Presented results of theoretical and experimental studies, confirming the 2-4-fold increase in shielding effectiveness using the method. The recommendations on the choice of the value of the inductance introduced depending on the desired rate of screening, cable parameters and the length of the shielded area. References 5, figures 5.

Key words: cable line, magnetic field, shielding circuit, ferromagnetic core.

1. Shcherba A.A., Podoltsev A.D., Kucheriava I.M. Electromagnetic Processes in 330 KV Cable Line With Polyethylene Insulation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2013. – No 1. – Pp. 9–15. (Rus)
2. Shydlovskiy A.K., Shcherba A.A., Podoltsev A.D., Kucheriava I.M. Cables with polymeric insulation on ultrahigh voltage. – Kiev: Institut Elektrodinamiki Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 2013. – 352 p. (Rus)
3. J.R. Riba Ruiz, X. Alabern Morera. Effects of the circulating sheath currents in the magnetic field generated by an underground power line // International conference on renewable energies and power quality, 5-7 April, 2006. – Palma de Mallorca, 2006. – 217 p.
4. Rozov V.Yu., Kvytynskiy A.A., Dobrodeyev P.N., Grinchenko V.S., Erisov A.V., Tkachenko A.O. Study of the magnetic field of three phase lines of single core power cables with two-end bonding of their shields // Elektrotehnika i Elektromekhanika. – 2015. – No 4. – Pp. 56–61. (Rus)
5. Electrical Installation Regulations. Minenerhovuhillia Ukrainy. – Kharkiv: Fort, 2014. – 793 p. (Ukr)

Надійшла 10.02.2016
Остаточний варіант 07.04.2016