

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭКРАН ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ РЕАКТОРОВ

© 2009 М.Ш. Мисриханов<sup>1</sup>, Н.Б. Рубцова<sup>2</sup>, А.Ю. Токарский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Магистральные электрические сети Центра

<sup>2</sup> НИИ медицины труда РАМН

Статья получена 24.09.2009 г.

В работе показана возможность с помощью электромагнитных экранов снижения уровней напряженности магнитного поля (МП), создаваемого однорядным и многослойным электрическими воздушными реакторами. Для компенсации МП реакторов наиболее эффективным являются комбинированные электромагнитные экраны, позволяющие уменьшить напряженность МП в окружающем реактор пространстве в 2-50 раз.

Ключевые слова: *электромагнитный экран, воздушный реактор, напряженность магнитного поля*

Токоограничивающие, фильтровые и другие воздушные (без ферромагнитного сердечника) электрические реакторы последовательно установленные в силовую электрическую цепь создают в окружающем пространстве интенсивное магнитное поле, воздействующее как на обслуживающий персонал и электронную аппаратуру, так и на окружающую среду. Рассмотрим однорядный реактор (см. рис. 1) содержащий 27 витков высотой 2 см и шириной 6,4 см. Радиус витков 0,55 м, шаг намотки витков в ряду 3,85 см. В обмотке реактора протекает электрический ток  $\dot{I}_p = 2500$  А, который создает в пространстве магнитное поле. На расстоянии 2 метра над реактором напряженность магнитного поля (МП) в точке Д на оси реактора достигает  $H_p = 658$  А/м.

Если реактор или группа реакторов расположены на первом этаже технического здания электрической станции или подстанции, а на втором этаже размещена аппаратура релейной защиты и автоматики, то магнитное поле с высоким уровнем напряженности, воздействуя на эту аппаратуру, может привести к ее сбою, ложному срабатыванию и аварийному отключению, что может стать причиной техногенной катастрофы.

Для снижения уровня напряженности МП, создаваемого реактором, возможно использовать электромагнитные экраны, каждый из которых представляет собой замкнутый медный виток. Разместим на расстоянии 0,35 м от верхнего и нижнего торцов обмотки реактора (см. рис. 1) короткозамкнутые экранирующие витки ЭВ1 и ЭВ2 радиусом 0,9 м, высотой 5 см и шириной 4 см. Магнитным потоком в экранирующих витках ЭВ1 и ЭВ2 наводятся

электродвижущие силы (ЭДС)  $\dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}} = 5,57e^{-j90}$  В, которые создают в них токи  $\dot{I}_{\dot{Y}\dot{A}} = 3762e^{-j178}$

А. Токами экранирующих витков в окружающем пространстве наводится магнитное поле, направленное встречно магнитному полю реактора. В точке Д напряженность магнитного поля, создаваемого экранирующими витками составляет  $H_{\text{Э}} = 265$  А/м. В результате интенсивность магнитного поля снижается и значение результирующей напряженности в точке Д составляет  $H_{p+\text{Э}} = 393$  А/м.

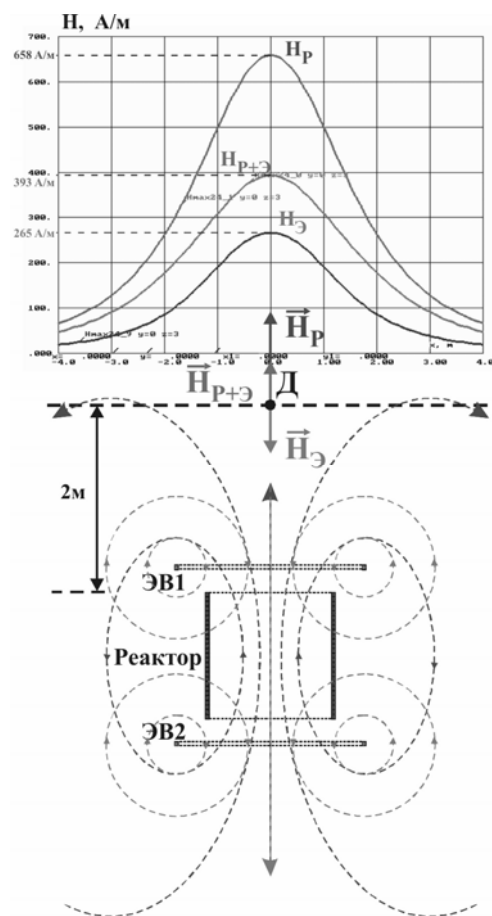


Рис. 1. МП, создаваемое однорядным реактором с двумя экранирующими витками

Мисриханов Мисрихан Шапиевич, доктор технических наук, профессор, генеральный директор. E-mail: mmsh@mes-centra.ru

Рубцова Нина Борисовна, доктор биологических наук, заведующая отделом. E-mail: rubtsovanb@yandex.ru

Токарский Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, главный специалист. E-mail: mmsh@mes-centra.ru

Применение электромагнитного экрана состоящего из двух экранирующих витков, расположенных по торцам обмотки реактора приводит к небольшой компенсации магнитного поля реактора. Это объясняется низким значением тока в экранирующих витках. Для увеличения эффекта экранирования целесообразно применение комбинированного электромагнитного экрана [1], который помимо экранирующих витков, расположенных по торцам обмотки реактора, содержит витки ЭДС, размещенные в зоне наибольшей интенсивности магнитного поля, т.е. на обмотке реактора. Витки ЭДС последовательно или параллельно соединяются с экранирующими витками, что приводит к увеличению протекающего в ЭВ1 и ЭВ2 тока.

Разместим экранирующие витки ЭВ1 и ЭВ2 на расстоянии 0,3 м от верхнего и нижнего торцов обмотки реактора. Пять витков ЭДС радиусом 0,7 м расположим в середине по высоте обмотки реактора. Витки ЭДС намотаны с шагом 10 см. Магнитным полем реактора в экранирующих витках наводится ЭДС  $\dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}1} = \dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}2} = 6,1e^{-j90}$  В, а в витках ЭДС  $\dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}} = 77,8e^{-j90}$  В. Соединим последовательно экранирующий виток ЭВ1 с витками ЭДС шунтом Ш11, экранирующий виток ЭВ2 с витками ЭДС шунтом Ш12 и экранирующие витки – шунтом Ш2. Получим схему последовательного соединения комбинированного электромагнитного экрана (см. рис.2).

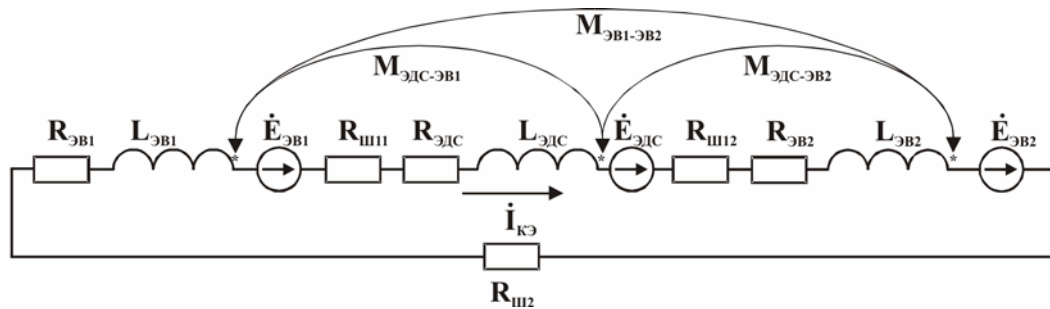


Рис. 2. Схема последовательного соединения комбинированного электромагнитного экрана

Значение тока в комбинированном электромагнитном экране определяется по выражению:

$$\dot{I}_{\text{КЭ}} = \frac{\dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}} + \dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}1} + \dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}2}}{R_{\Sigma} + j\omega(L_{\Sigma} + 2M_{\Sigma})},$$

где  $R_{\Sigma} = R_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}} + R_{\dot{Y}\dot{A}1} + R_{\dot{Y}\dot{A}2} + R_{\phi\Sigma}$ ,  
 $L_{\Sigma} = L_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}} + L_{\dot{Y}\dot{A}1} + L_{\dot{Y}\dot{A}2}$ ,  $M_{\Sigma} = M_{\dot{Y}\dot{A}1-\dot{Y}\dot{A}2} + \dot{I}_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}-\dot{Y}\dot{A}1} + \dot{I}_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}-\dot{Y}\dot{A}2}$  и составляет  $\dot{I}_{\text{КЭ}} = 4748e^{-j179}$  А.

Током экранирующих витков и витков ЭДС на том же уровне создается магнитное поле с наибольшим значением напряженности  $H_{\text{КЭ}} = 655$  А/м в точке Д. При наложении магнитные поля реактора и комбинированного электромагнитного экрана (см. рис. 3) компенсируют друг друга, в результате чего на рассматриваемом уровне остается магнитное поле с наибольшим значением напряженности  $H_{\text{Р+КЭ}} = 12$  А/м на расстоянии  $\pm 1,9$  м от оси реактора. Результирующее значение напряженности магнитного поля в точке Д составляет 11,8 А/м. На рис. 4 показана кривая распределения напряженности результирующего магнитного поля на уровне двух метров от верхнего торца реактора в увеличенном масштабе.

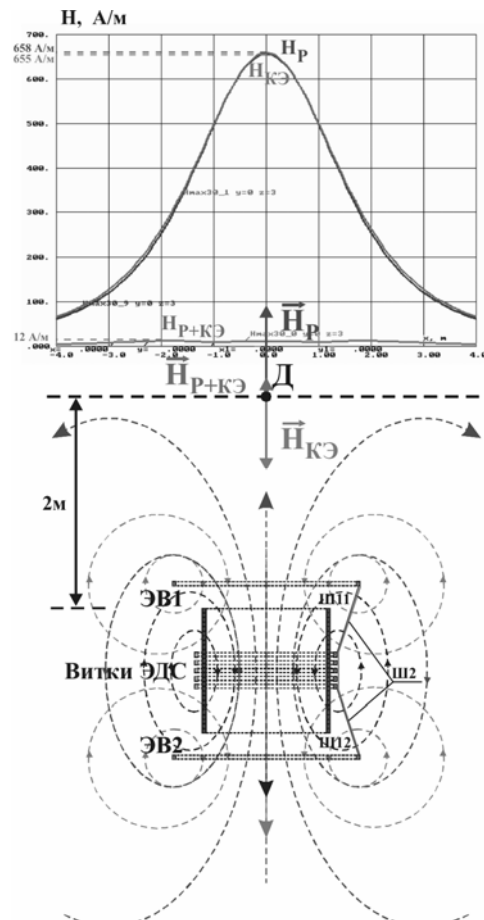


Рис. 3. МП, создаваемое над однорядным реактором с комбинированным электромагнитным экраном

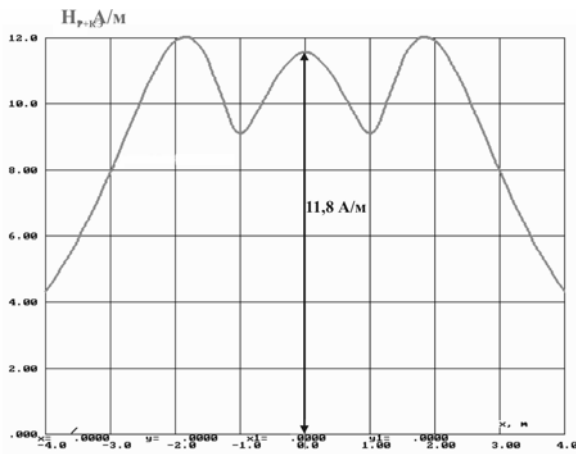


Рис.4. Распределение  $H_{p+kz}$  на уровне 2 м над обмоткой реактора

Магнитные поля реактора и комбинированного электромагнитного экрана, как и создающие их токи, изменяются во времени с частотой 50 Гц. Поэтому напряженности  $\dot{H}_D$ ,  $\dot{H}_{\hat{E}\hat{Y}}$  и  $\dot{H}_{D+\hat{E}\hat{Y}}$  являются комплексными величинами. В точке Д они имеют названные значения модулей, а фазные углы совпадают с фазными углами создающих их токов.

Комплексное значение ток реактора  $\dot{I}_p = 2500 \text{ A}$ , напряженность магнитного поля, создаваемого реактором в точке Д,  $\dot{H}_p = 658 \text{ A}/\dot{i}$ . Ток в комбинированном электромагнитном экране  $\dot{I}_{\hat{E}\hat{Y}} = 4748a^{-j179} \text{ A}$ , напряженность магнитного поля, создаваемая этим током в точке Д,  $\dot{H}_{\hat{E}\hat{Y}} = 655e^{-j179} \text{ A}/\dot{i}$ . Результирующее (суммарное) значения напряженности магнитного поля составляет 11,8 A/м:  $\dot{H}_{D+\hat{E}\hat{Y}} = \dot{H}_D + \dot{H}_{\hat{E}\hat{Y}} = 658 + 655e^{-j179} = 11,8e^{-j75} \text{ A}/\dot{i}$ .

Сбоку от реактора эффективность экранирования меньше. На расстоянии 3 м от оси обмотки реактора (см. рис.5) при изменении высоты по оси Z от -1 м до 2 м наибольшее значение напряженности магнитного поля, создаваемого током в обмотке реактора, составляет  $H_p = 187 \text{ A}/\text{м}$ . Током комбинированного электромагнитного экрана создается магнитное поле с наибольшим значением напряженности  $H_{kz} = 167 \text{ A}/\text{м}$ . В результате компенсации остается магнитное поле с наибольшим значением напряженности  $H_{p+kz} = 20 \text{ A}/\text{м}$ .

Таким образом, применение комбинированного электромагнитного экрана позволяет снизить напряженность магнитного поля сверху на уровне двух метров от верхнего торца обмотки однорядного реактора с 658 A/м до 12 A/м, т.е. в 54,8 раза. При этом напряженность магнитного поля сбоку от реактора, на расстоянии 3 м от его оси снижается со 187 A/м до 20 A/м, т.е. в 9,4 раза.

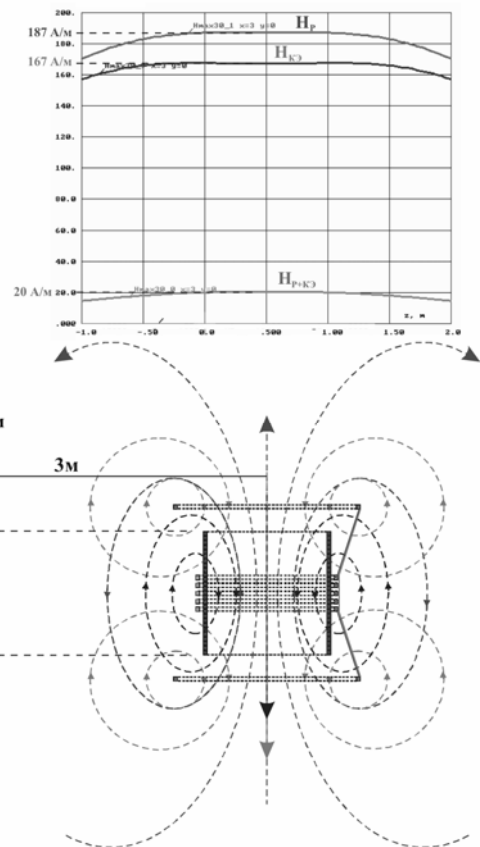


Рис. 5. МП, создаваемое сбоку от однорядного реактора с комбинированным электромагнитным экраном

Рассмотрим многослойный реактор (см. рис. 6) содержащий  $N=32$  слоя по 6 витков в каждом слое. Радиус внутреннего витка составляет 45 см, витки намотаны с шагом 5 см. Шаг намотки слоев 3,5 см. Реактор содержит 4 параллельных ветви, с витками каждой из которых проведена транспозиция таким образом, чтобы электрические сопротивления ветвей были одинаковыми. Полный электрический ток, входящий в реактор составляет 2500 А, а величина тока, протекающего в каждой ветви, а значит и в каждом витке обмотки реактора, составляет 625 А. На расстоянии 30 см над и под обмоткой реактора установим экранирующие витки ЭВ1 и ЭВ2, каждые из которых состоят из двух слоев по два витка в слое. Шаг намотки слоев 10 см. Радиусы внутренних витков 0,9 м, шаг намотки витков в слоях 10 см. В середине обмотки реактора установим три витка ЭДС радиусом 0,82 м. шаг намотки витков ЭДС 10 см. Конец верхних экранирующих витков ЭВ1 последовательно соединены с началом витков ЭДС шиной Ш11, конец витков ЭДС с началом витков ЭВ2 шиной Ш12 и шина Ш2 замыкает конец витков ЭВ2 с началом витков ЭВ1.

Магнитным полем реактора в экранирующих витках наводится ЭДС:

$$\dot{E}_{\hat{Y}\hat{\lambda}1} = \dot{E}_{\hat{Y}\hat{\lambda}2} = 42,1\hat{a}^{-j90^\circ} \hat{A}$$

а в витках ЭДС:

$$\dot{E}_{\dot{Y}\dot{A}\dot{N}} = 82,8\dot{a}^{-j90^\circ} \hat{A}$$

которые создают в цепи комбинированного электромагнитного экрана ток:

$$\dot{I}_{\dot{E}\dot{Y}} = 34842\dot{a}^{-j179^\circ} \hat{A}$$

Электрический ток в экранирующих витках ЭВ1 и ЭВ2 и витках ЭДС создает магнитное поле комбинированного электромагнитного экрана, направленное встречно магнитному полю обмотки реактора. На расстоянии 2 м от верхнего торца обмотки реактора током в обмотке реактора создается магнитное поле с наибольшим значением напряженности  $H_P=1243$  А/м.

Наибольшее значение напряженности магнитного поля, создаваемого комбинированным электромагнитным экраном, составляет  $H_{KЭ}=1240$  А/м. Наибольшее значение напряженности результирующего магнитного поля составляет  $H_{P+KЭ}=88$  А/м на расстоянии  $\pm 1,8$  метра от оси обмотки реактора. Применение комбинированного электромагнитного реактора позволило уменьшить напряженность магнитного поля, создаваемого многослойным реактором более чем, в 14 раз: с 1243 А/м до 88 А/м. На оси обмотки реактора напряженность результирующего магнитного поля снижается до 16 А/м. На рисунке 7 показано распределение напряженности  $H_{P+KЭ}$  результирующего магнитного поля на уровне 2-ух метров от верхнего торца обмотки реактора.

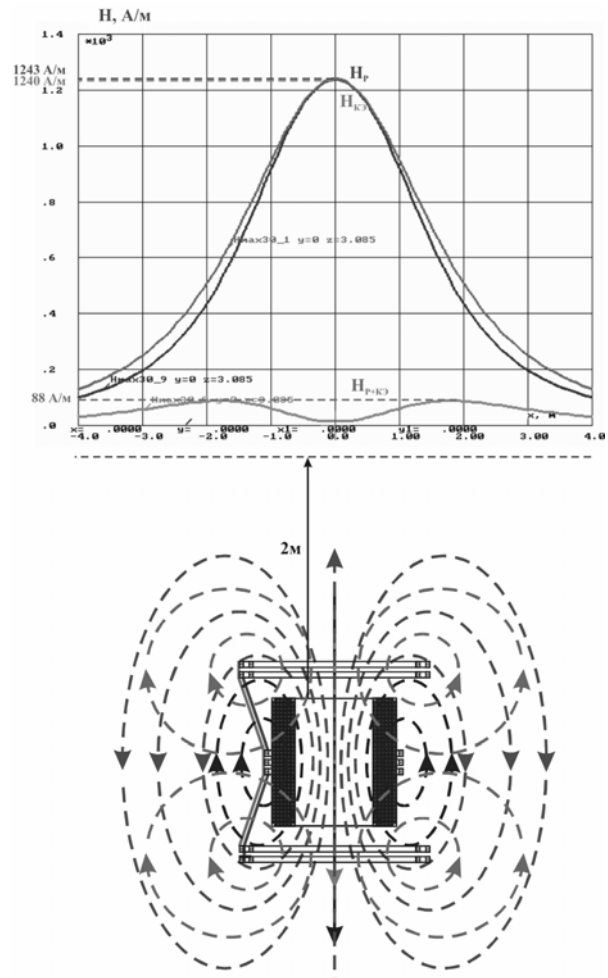


Рис. 6. МП, создаваемое над многослойным реактором с комбинированным электромагнитным экраном

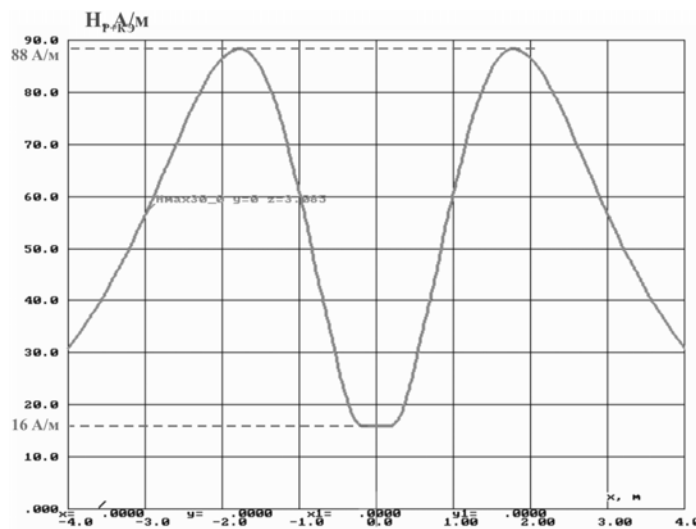


Рис. 7. Распределение  $H_{P+KЭ}$  на уровне 2 м

Сбоку на расстоянии 3 м от оси обмотки реактора (см. рис.8) при изменении высоты по оси Z от -1 м до 2 м наибольшее значение напряженности магнитного поля, создаваемого током в обмотке реактора, составляет  $H_P=372$  А/м. Током комбинированного электромагнитного экрана создается магнитное поле с наи-

большим значением напряженности  $H_{KЭ}=245$  А/м. В результате компенсации остается магнитное поле с наибольшим значением напряженности:  $H_{P+KЭ}=141$  А/м. В этом случае напряженность магнитного поля уменьшается в 2,6 раза.

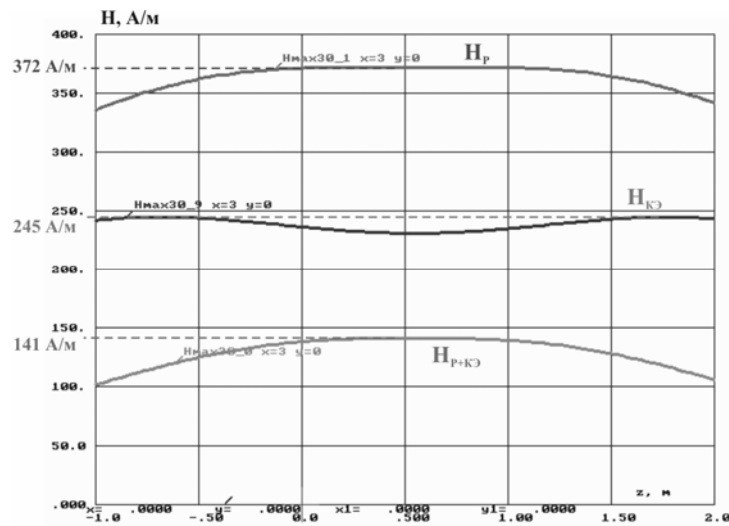


Рис. 8. Распределение напряженности МП на расстоянии 3 м сбоку от оси реактора

**Выводы:** комбинированные электромагнитные экраны способны обеспечить электромагнитную безопасность обслуживающего персонала подстанции и электромагнитную совместимость электрических реакторов с аппаратурой релейной защиты и автоматики, а также значительно снизить электромагнитное загрязнение окружающей среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент на изобретение № 2304815. Электромагнитный экран для реактора без ферромагнитного сердечника/ Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Опубликовано 20.08.2007, Бюл. № 23.

## THE COMBINED ELECTROMAGNETIC SCREEN FOR ELECTRICAL AIR REACTORS

© 2009 M.S. Misrihanov<sup>1</sup>, N.B. Rubtsova<sup>2</sup>, A.Yu. Tokarskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> JSC Federal Network Company Branch "Main Power Networks of the Center"

<sup>2</sup> Scientific Research Institute of Occupational Health RAMS

Article is received 2009/09/24

In work the opportunity by means of electromagnetic screens of decrease in levels of intensity of a magnetic field (MF) created single-row and multilayered electrical air reactors is shown. For indemnification of reactors MF the most effective are the combined electromagnetic screens, allowing to reduce intensity of MF in space surrounding reactor at 2-50 time.

Key words: *electromagnetic screen, air reactor, intensity of a magnetic field*

*Misrikhan Misrikhanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director. E-mail: mmsh@mes-centra.ru*  
*Nina Rubtsova, Doctor of Biology, Head of the Department. E-mail: rubtsovanb@yandex.ru*  
*Andrey Tokarskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist. E-mail: mmsh@mes-centra.ru*