

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

© 2009 Н.Б. Рубцова², М.Ш. Мисриханов¹, А.Ю. Токарский¹
¹Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Магистральные электрические сети Центра
² НИИ медицины труда РАМН
 Статья получена 24.09.2009 г.

В работе рассмотрены уровни напряженности магнитного поля (МП), создаваемого токоограничивающими реакторами РТОС-10-3150-0,25-У3 в закрытом распределительном устройстве 10 кВ и в местах нахождения персонала, и показана эффективность применения комбинированных электромагнитных экранов для ограничения этого МП до предельно допустимого уровня

Ключевые слова: *электромагнитная безопасность, токоограничивающие реакторы, напряженность магнитного поля*

Основным документом, регламентирующим предельно допустимые уровни (ПДУ) магнитных полей (МП) промышленной частоты (ПЧ) для персонала, является СанПиН 2.2.4.1191 – 03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [1], где ПДУ МП ПЧ устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (см. табл. 1) по значениям напряженности Н МП в производственных условиях.

По помехоустойчивости уровни напряженности МП в зависимости от степени жесткости при постоянной интенсивности нормируются в пределах от 1 А/м до 100 А/м [2].

Таблица 1. ПДУ воздействия МП ПЧ на персонал

Время пребывания, час	ПДУ МП, Н [А/м] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600	6400
2	800	3200
4	400	1600
8	80	800

МП, создаваемое токоограничивающими реакторами в ЗРУ-10 кВ. Рассмотрим проект размещения четырех токоограничивающих реакторов РТОС-10-3150-0,25-У3 в здании ОПУ и ЗРУ-10 кВ. Схема размещения реакторов в осях координат ХОУ показана на рис. 1, а в осях YOZ – на рис. 2.

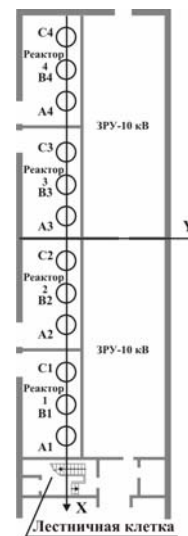


Рис. 1. Схема размещения четырех токоограничивающих реакторов РТОС-10-3150-0,25-У3 и осей ХОУ в здании ОПУ и ЗРУ-10 кВ. Первый этаж

Каждый виток реактора (см. рис. 3) выполнен в виде пучка, состоящего из четырех проводов (см. рис. 4). Высота пучка 11,7 мм, а ширина 18 мм. Плоскость витка расположена на расстоянии середины высоты пучка, т.е. на расстоянии $5,85 \pm 6$ мм выше нижнего торца пучка. Высота фундамента над уровнем $z=0$ м составляет 0,15 м. Расстояние между фундаментом и плоскостью нижнего витка обмотки реактора 0,662 м. Тогда $h_{НВ}=0,15+0,662+0,006=0,778$ м. Число витков в ряду обмотки реактора $N=37$. Зазор между соседними витками в ряду составляет 16 мм, тогда расстояние между плоскостями соседних витков, т.е. шаг « n » намотки витков в ряду, составит $n=16+11,7=27,7$ мм. Высота обмотки реактора $h=n \cdot (N-1)=27,7 \cdot 36=997,2$ мм, т.е. $h=0,997$ м. Радиус R_0 внутреннего торца внутреннего ряда обмотки реактора составляет 420 мм (см. рис. 5), тогда радиус витка внутреннего ряда $R_0=429$ мм, т.е. $R_0=0,429$ м. Аналогично определяется шаг намотки рядов $\Delta R_0=0,034$ м. Координаты расположения осей обмоток реакторов по оси ОХ даны в таблице 2.

Рубцова Нина Борисовна, доктор биологических наук, заведующая отделом. E-mail: rubtsovanb@yandex.ru
Мисриханов Мисрихан Шапиевич, доктор технических наук, профессор, генеральный директор. E-mail: mmsh@mes-centra.ru
Токарский Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, главный специалист. E-mail: mmsh@mes-centra.ru

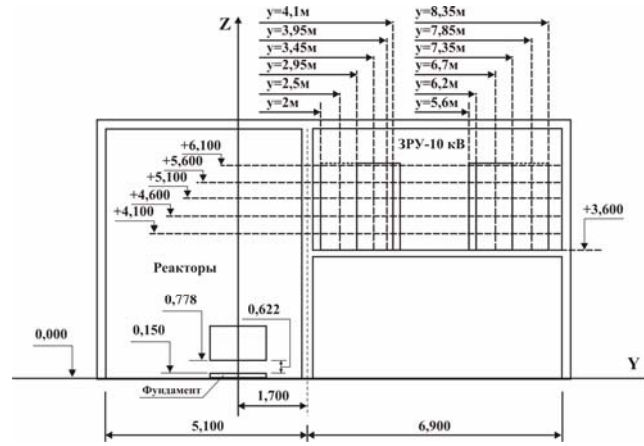


Рис. 2. Схема размещения токоограничивающих реакторов РТОС-10-3150-0,25-У3 и расчетных уровней по осям OZ и OY в помещении ЗРУ-10 кВ

Каждый виток реактора (см. рис. 3) выполнен в виде пучка, состоящего из четырех проводов (см. рис. 4). Высота пучка 11,7 мм, а ширина 18 мм. Плоскость витка расположена на расстоянии середины высоты пучка, т.е. на расстоянии $5,85 \pm 0,06$ мм выше нижнего торца пучка. Высота фундамента над уровнем $z=0$ м составляет 0,15 м. Расстояние между фундаментом и плоскостью нижнего витка обмотки реактора 0,662 м. Тогда $h_{нв}=0,15+0,662+0,006=0,778$ м. Число витков в ряду обмотки реактора $N=37$. Зазор между соседними витками в ряду составляет 16 мм, тогда расстояние между плоскостями соседних витков, т.е. шаг «п» намотки витков в ряду, составит $p=16+11,7=27,7$ мм. Высота обмотки реактора $h=p \cdot (N-1)=27,7 \cdot 36=997,2$ мм, т.е. $h=0,997$ м. Радиус $R_{отоп}$ внутреннего торца внутреннего ряда обмотки реактора составляет 420 мм (см. рис. 5), тогда радиус витка внутреннего ряда $R_0=429$ мм, т.е. $R_0=0,429$ м. Аналогично определяется шаг намотки рядов $\Delta R_0=0,034$ м. Координаты расположения осей обмоток реакторов по оси OX даны в таблице 2.

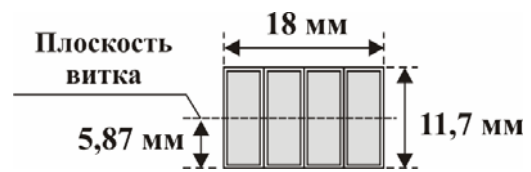


Рис. 4. Пучок из четырех проводов, образующий виток

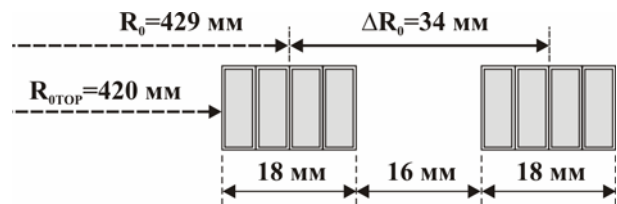


Рис. 5. К определению радиуса внутреннего ряда и шага намотки по рядам

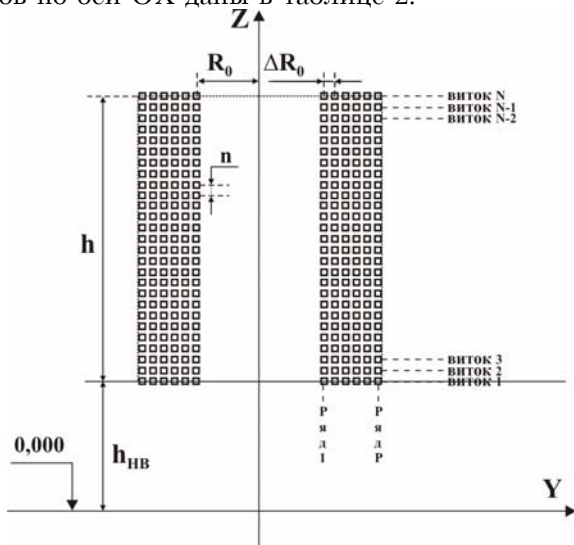


Рис. 3. Схема обмотки реактора

Число витков обмотки реактора $P=8$. Число параллельных электрических ветвей, витки которых прошли транспозицию с целью выравнивания сопротивлений этих ветвей, равно $G=8$. Токи во всех ветвях реактора одинаковы и составляют I_P/G . Наибольшее значение модуля тока в обмотке реактора $I_P=2850$ А (по данным проектировщиков). Шкафы, содержащие микропроцессорные платы, расположены в помещении ЗРУ-10 кВ на втором этаже. На рис. 2 показана схема размещения шкафов и расчетных уровней по осям OZ и OY в помещении ЗРУ-10 кВ. Распределение напряженности МП на расчетных уровнях рассчитывалось по программе «Реактор МП» [3]. На рис. 6 показано распределение напряженности H_{max} (действующее значение по большей полуоси эллипса) МП, создаваемого четырьмя трехфазными реакторами на уровне +5,6 м ($z=5,6$ м, или 2,0 м от поверхности пола помещения ЗРУ-10 кВ) при номинальном токе реактора 3150 А.

Таблица 2. Координаты расположения осей обмоток реакторов по оси ОХ, м

Реакт.	1			2		
Фаза	A1	B1	C1	A2	B2	C2
x, м	-16,07	-13,42	-10,77	-6,77	-4,12	-1,47
Реакт.	3			4		
Фаза	A3	B3	C3	A4	B4	C4
x, м	1,47	4,12	6,77	10,77	13,42	16,07

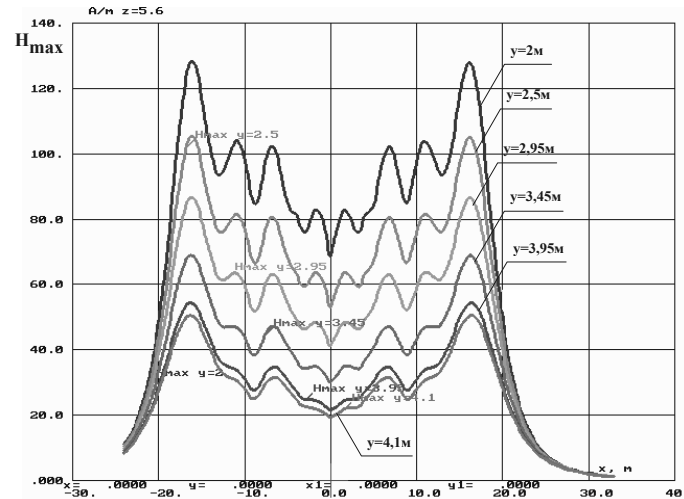


Рис. 6. Распределение напряженности H_{max} в помещении ЗРУ-10 кВ на уровне +5,6 м для $y=2$ м, 2,5 м, 2,95 м, 3,45 м, 3,95 м и 4,1 м при номинальном токе реактора 3150 А

Наибольшее воздействие МП со стороны реакторов оказывается на технические средства, размещенные в ближнем к реакторам ряду рабочих шкафов помещения ЗРУ-10 кВ. Для второго (удаленного от реакторов) ряда рабочих шкафов H_{max} не достигает значения 30 А/м даже при токе 3150 А. В рабочих шкафах размещены блоки, содержащие микропроцессорные платы, на которые воздействие МП ограничено величиной напряженности 30 А/м. Блоки, содержащие микропроцессорные платы,

расположены в шкафах на расстоянии 1,8 м от пола помещения ЗРУ-10 кВ, т.е. на уровне $z=5,4$ м. Наибольшее значение тока в реакторах при максимальной нагрузке составляет по данным проектировщиков 2850 А. На рис. 7 показано перевернутый относительно координаты $x=0$ м график распределения напряженности МП на уровне $z=5,4$ м для $y=3,7$ м и 4,1 м при изменении x от -24 м до 33 м. График совмещен с планом помещения ЗРУ-10 кВ.

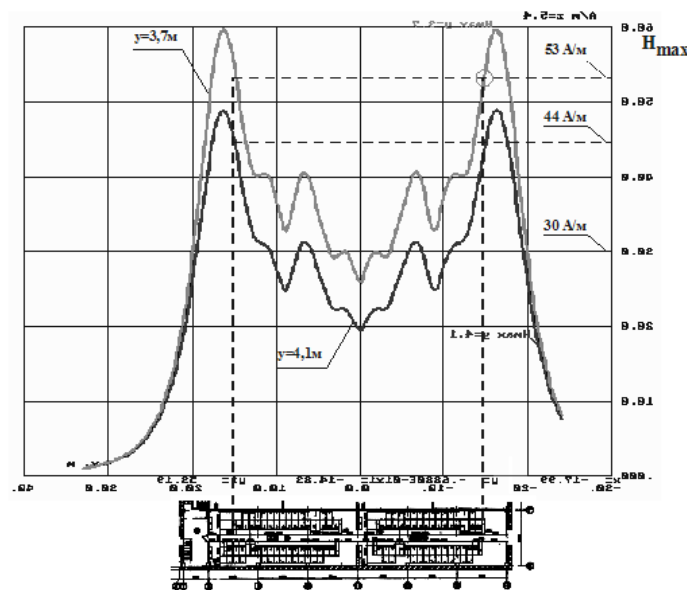


Рис. 7. График распределения напряженности МП на уровне $z = 5,4$ м для $y = 3,7$ м и 4,1 м при изменении x от -24 м до 33 м, совмещенный с планом помещения ЗРУ-10 кВ

Для всех шкафов на расчетном уровне напряженность МП превышает 30 А/м (наибольшие значения H_{\max} : 54 А/м для $y=3,7$ м и 44 А/м для $y=4,1$ м), что может привести к выходу из строя микропроцессоров, регламентированных для четвертой степени жесткости по помехоустойчивости. Для устранения такой возможной причины выхода из строя микропроцессоров необходимо либо перенести реакторы хотя бы на 0,5 м к наружной стенке здания, либо использовать блоки, содержащие микропроцессоры, регламентированные по пятой степени жесткости [2] ($H_{\max} \leq 100$ А/м), либо установить на реакторы электромагнитные экраны.

МП, создаваемое токоограничивающими реакторами на лестничной клетке. На расстоянии 1572 мм от оси крайнего реактора расположена поверхность стены лестничной клетки (см. рис. 1 и 8). На рис. 8 показана область расчета напряженности МП на лестничной клетке здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ. Расчет проводился по прямой, соединяющей оси реакторов (при $y=0$ м, где H_{\max} имеет наибольшие значения) для уровней $x=17,644$ м, 18,144 м, 18,644 м, 19,144 м и 19,644 м при изменении z

от 0 м до 7 м. $I_p=2850$ А. На рис. 9 показано распределение H_{\max} на расчетных уровнях.

Напряженность МП на поверхности стены лестничной клетки на высоте 0,94 м и 1,58 м составляет 1,954 кА/м, что (см. табл. 1) исключает возможность появления обслуживающего персонала в данном помещении. На расстоянии 0,5 м от стены $H_{\max}=860$ А/м, на расстоянии 1 м – $H_{\max}=450$ А/м, на расстоянии 1,5 м – $H_{\max}=260$ А/м, а на расстоянии 2 м – $H_{\max}=170$ А/м. Для устранения вредного воздействия МП на обслуживающий персонал необходимо либо перенести лестничную клетку на противоположенную сторону здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ, либо отодвинуть реакторы от стены лестничной клетки на 3 м, увеличив на 3 м длину здания ОПУ и ЗРУ, либо экранировать стену камеры реактора с помощью ферромагнитного экрана (листы пермаллоя, трансформаторное железо и т.п.) хотя бы до значения напряженности МП на поверхности стены лестничной клетки $H_{\max} \leq 1600$ А/м со временем пребывания персонала в данном помещении менее 1 часа в сутки, либо установить на токоограничивающие реакторы электромагнитные экраны, обеспечивающие снижение уровней МП до необходимых значений.

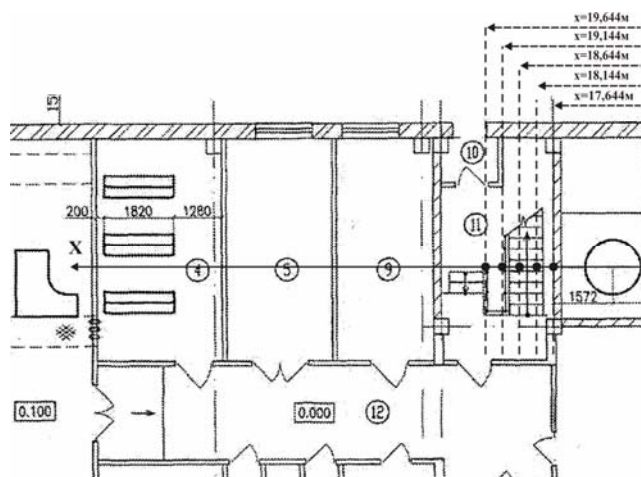


Рис. 8. Область расчета напряженности МП на лестничной клетке здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ

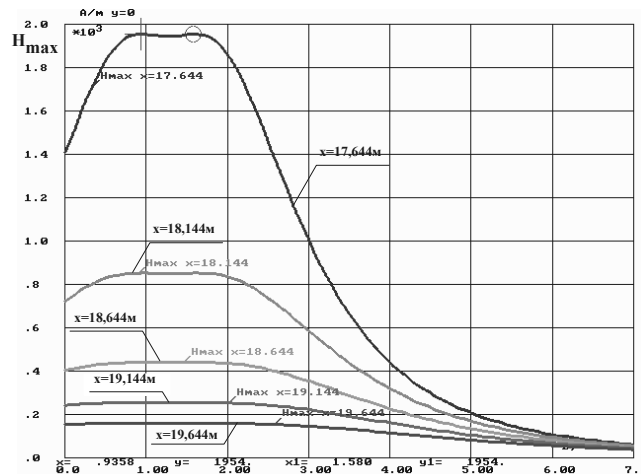


Рис. 9. Распределение напряженности H_{\max} на лестничной клетке для расчетных уровней $x=17,644$ м, 18,144 м, 18,644 м, 19,144 м и 19,644 м. $I_p=2850$ А

Ограничение уровня напряженности МП с помощью комбинированных электромагнитных экранов. Снизить уровень напряженности МП в помещении ЗРУ-10 кВ и на лестничной площадке можно в результате установки на реакторы комбинированных электромагнитных

экранов (КЭМЭ) [4]. Рассмотрим один реактор РТОС-10-3150-0,25-У3 (см. рис. 10), на котором на середине его обмотки установим однорядный электромагнитный экран (ЭМЭ4в), содержащий 4 витка ($N=4, P=1$) радиусом 0,8 м, намотанных с шагом $p=0,1$ м.

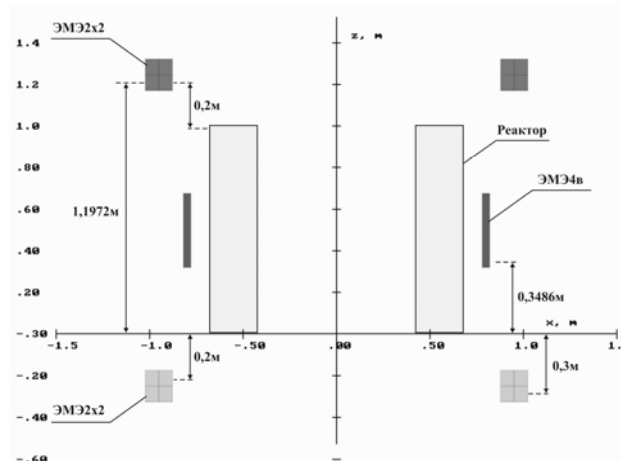


Рис. 10. Реактор РТОС-10-3150-0,25-У3 с КЭМЭ

На расстоянии 0,2 м от торцов обмотки реактора разместим двухслойные электромагнитные экраны (ЭМЭ2Ч2), содержащие по два витка в слое ($N=2, P=2$), намотанных с шагом по слоям $p=0,1$ м и по виткам $R_0=0,1$ м. Все ЭМЭ выполнены медным прямоугольным проводом с размерами «по меди» – высотой $h_{ПР}=5$ см и шириной $d=4$ см. Соединение всех ЭМЭ в КЭМЭ – согласно-параллельное, выполненное шинами из того же провода. Расчет параметров реактора, КЭМЭ и напряженности МП проводился по программе «Реактор – ЭМЭ» [5]. При полном токе реактора 2850 А в крайних ЭМЭ наводятся токи $\dot{I}_{ЭД}=2605e^{-j179^\circ}$ А, а в среднем ЭМЭ ток $\dot{I}_{НД}=5210e^{-j179^\circ}$ А. МП, создаваемое токами КЭМЭ, направлено встречно магнитному полю реактора и

компенсирует последнее. Индуктивное сопротивление обмотки реактора составляет 0,270 Ом, а с учетом влияния комбинированного ЭМЭ при его согласно-параллельном соединении снижается до 0,184 Ом. На рис. 11 показано распределение напряженности H_{max} МП на уровне $z=5,4$ м (уровень расположения микропроцессорных плат в рабочих шкафах ЗРУ-10 кВ) для $y=3,7$ м (ближний торец микропроцессорной платы), создаваемого одним реактором (первый реактор третьей группы с координатой оси $x=1,47$ м, см. рис. 1 и табл. 2) – кривая «Реактор», установленным на нем КЭМЭ – кривая «Экран» и совместно реактором и экраном – кривая «Реактор+экран». На рис. 12 показана отдельно кривая «Реактор+экран».

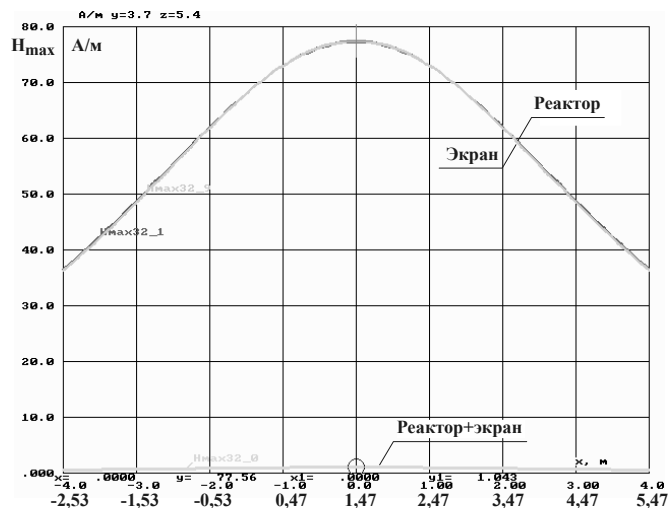


Рис. 11. Распределение напряженности H_{max} МП на уровне $z=5,4$ м для $y=3,7$ м

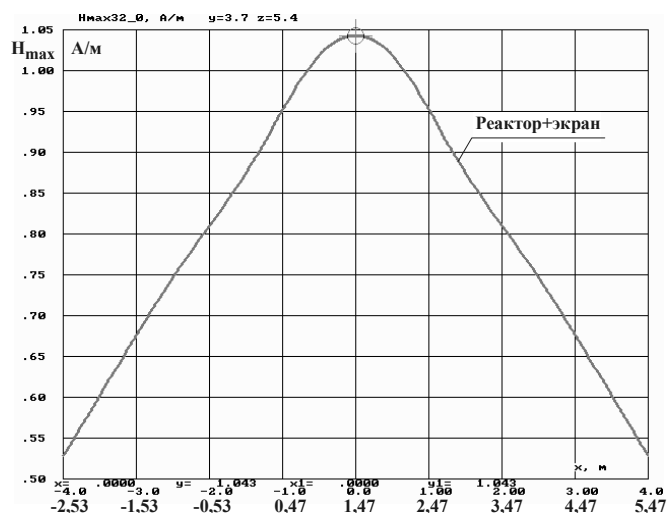


Рис. 12. Кривая «Реактор+экран» распределения напряженности H_{\max} МП на уровне $z=5,4$ м для $y=3,7$ м

Установка на реактор КЭМЭ позволила снизить напряженность МП в месте расположения микропроцессорных плат с 77,56 А/м до 1,043 А/м. МП токов соседних обмоток трехфазного реактора и МП токов обмоток соседних реакторов, если обмотки соседних реакторов установлены в последовательности типа А1,В1,С1 – А2,В2,С2 – и т.д. (см. рис. 1 и табл. 2), за счет сдвига фазных токов на 120° компенсируют МП, создаваемое током рассматриваемой обмоткой реактора. В нашем случае H_{\max} компенсируется примерно с 78 А/м до 30 А/м (см. рис.11, рис. 12 и рис. 7, кривая $y=3,7$ м, для $x=1,47$ м), т.е. более, чем в 2 раза для данного расположения реакторов. Тогда, если на обмотки всех реакторов одинаково установить КЭМЭ одинаковой конструкции, то напряженность результирующего МП по сравнению с напряженностью МП одного реактора с КЭМЭ также уменьшится более, чем в 2 раза и составит на рассматриваемом месте расчетного

уровня $z=5,4$ м при $y=3,7$ м порядка 0,5 А/м, что меньше 1 А/м (придельный уровень напряженности МП по помехоустойчивости для степени жесткости 1).

Таким образом, оснащение токоограничивающих реакторов РТОС-10-3150-0,25-У3 комбинированными электромагнитными экранами позволит использовать в помещении рассмотренного ЗРУ-10 кВ электронные устройства отвечающие любой степени жесткости по помехоустойчивости к МП промышленной частоты. Рассчитаем напряженность МП, создаваемое реакторами на лестничной площадке здания ОПУ и ЗРУ-10 кВ. На рис. 13 показано распределение напряженности МП, создаваемого токами реакторов на поверхности стены лестничной клетки: $H_{\max P}$ – реактором, $H_{\max ЭЭ}$ – КЭМЭ, $H_{\max \Sigma}$ – реактором и КЭМЭ. Установка комбинированного ЭМЭ позволила снизить напряженность МП на поверхности стены лестничной клетки до значения $H_{\max} < 800$ А/м.

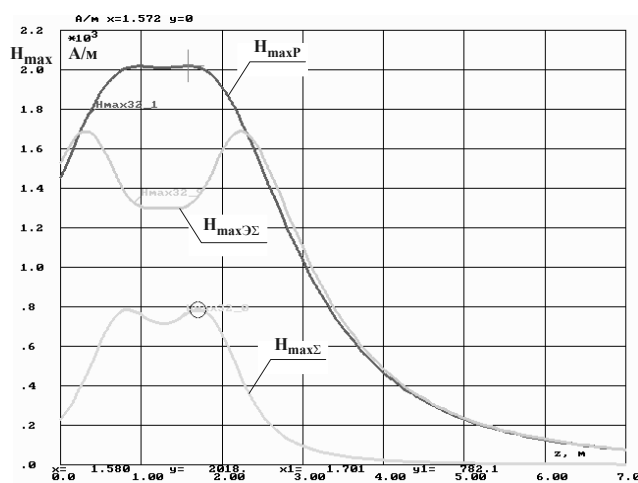


Рис. 13. Распределение напряженности МП, создаваемого токами реактора и КЭМЭ на поверхности стены лестничной клетки

На рис. 14 показано распределение напряженности МП, создаваемого реактором с комбинированным ЭМЭ на лестничной клетке: на поверхности стены $H_{\max} < 800$ А/м, на расстоянии 0,5 м от поверхности стены $H_{\max} < 200$ А/м и на расстоянии 1 м от стены $H_{\max} < 60$

А/м. Таким образом, установка на токоограничивающий реактор РТОС-10-3150-0,25-УЗ комбинированного электромагнитного экрана дает возможность пребывания на лестничной клетке персонала не менее двух часов в сутки (см. табл. 1).

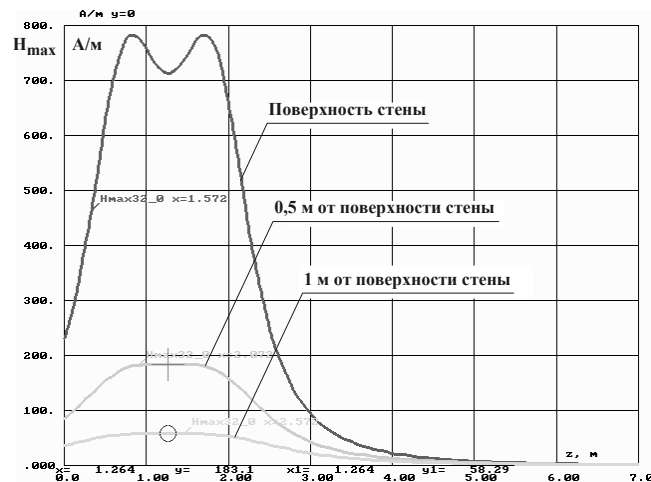


Рис. 14. Распределение напряженности МП, создаваемого токами реакторов на лестничной клетке на расстоянии 0 м, 0,5 м и 1 м от поверхности стены

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СанПиН 2.2.4.1191 – 03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».
2. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. Стандарт организации СО 34.35.311–2004. М.: Российское ОАО энергетики и электрификации «ЕЭС России». Издательство МЭИ, 2004.
3. Мисриханов, М.Ш. Магнитные поля трехфазных реакторов без ферромагнитного сердечника (Реактор МП). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613743, 27.10.2006. / М.Ш. Мисриханов, Ю.А. Иостсон, Н.Б. Рубцова, А.Ю. Токарский / Программы для ЭВМ, базы данных и топология интегральных микросхем. Официальный бюллетень федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и торговым знакам. № 1 (58). Москва, ФГУ ФИПС, 2007.
4. 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.
5. Мисриханов, М.Ш. Воздушный реактор с электромагнитным экраном (Реактор – ЭМЭ). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008610027, 09.01.2008. / М.Ш. Мисриханов, Ю.А. Иостсон, Н.Б. Рубцова, А.Ю. Токарский // Программы для ЭВМ, базы данных и топология интегральных микросхем. Официальный бюллетень федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и торговым знакам. № 1. Москва, ФГУ ФИПС, 2008.

MAINTENANCE OF INDUSTRIAL ELECTROMAGNETIC SAFETY CURRENT-LIMITED REACTORS

© 2009 N.B. Rubtsova², M.S. Misrihanov¹, A.Yu. Tokarskiy¹

¹ JSC Federal Network Company Branch “Main Power Networks of the Center”

² Scientific Research Institute of Occupational Health RAMS

Article is received 2009/09/24

In work levels of intensity of a magnetic field (MF) intensity created by current-limited reactors РТОС-10-3150-0,25-УЗ in the closed switching centre 10 кВ and in the locations of the personnel are considered, and application efficiency of the combined electromagnetic screens for restriction of it MF up to a maximum permissible level is shown

Key words: *electromagnetic safety, current-limited reactors, intensity of a magnetic field*

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