

Авторы:

к.т.н. Ильин В.Ф.,
Ильин Н.В.,
ООО НПП «ЭКРА»,
Федоров Ю.А.,
Ассоциация «ИнТЭК»,
г. Чебоксары, Россия.

Ph.D. Ilyin V.F.,

Ilyin N.V.,
EKRA Research and
Production Enterprise
LTD,

Fedorov Yu.A.,

INTEK Association,
Cheboksary, Russia.

Abstract: the issues of testing for emission and resistance to radiated radio frequency interference

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭМС ШКАФА РЗА В ЧАСТИ ЭМИССИИ И УСТОЙЧИВОСТИ К ИЗЛУЧАЕМЫМ ПОМЕХАМ

EMC RESEARCH TESTS OF THE RELAY PROTECTION AND AUTOMATION CABINET IN TERMS OF EMISSION AND RESISTANCE TO RADIATED INTERFERENCE

Аннотация: рассмотрены вопросы испытания на эмиссию и устойчивость к излучаемым радиочастотным помехам микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, размещаемых в монтажных шкафах. Описана испытательная установка с использованием вспомогательного оборудования, обеспечивающая функционирование испытуемого объекта по назначению и контроль качества функционирования в условиях воздействия помех. Обсуждены результаты исследовательских испытаний образцов типового шкафа релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики, электромагнитная совместимость, радиочастотные помехи, помехоэмиссия, помехоустойчивость.

of microprocessor relay protection and automation devices placed in mounting cabinets are considered. The test facility is described with the use of auxiliary equipment that ensures the functioning of the tested object for its intended purpose and quality control of its functioning under conditions of interference. The research tests results of typical relay protection and automation sample are discussed.

Keywords: relay protection and automation microprocessor device, electromagnetic compatibility, radio frequency interference, interference emission, noise immunity.

Введение

Широкая номенклатура применяемых на объектах электроэнергетики технических средств (ТС) обуславливает непредсказуемую загрузку частотного спектра индустриального радиосигналами радиопередающих устройств и электромагнитными помехами, излучаемыми самими ТС. Чтобы обеспечить требование устойчивости в условиях действующей на месте эксплуатации электромагнитной обстановки и исключить превышение допустимого уровня электромагнитного фона, серийно выпускаемые микропроцессорные устрой-

ства релейной защиты и автоматики (МП РЗА) проходят сертификационные и периодические испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС) в соответствии с требованиями государственных [1-3] и отраслевых [4, 5] стандартов. Чтобы поддерживать неизменно высокое качество продукции, отдельные производители практикуют комплексный подход к испытанию изделий. В цикл разработки новых изделий вводят углубленные исследовательские испытания, призванные выявить возможные потенциальные проблемы в области ЭМС и определить эксплуатационные запасы, допускающие относительно свободные конструктивные изменения для последующих модификаций [6].

В работе обсуждаются результаты исследовательских испытаний в отношении эмиссии и устойчивости к излучаемым радиочастотным электромагнитным помехам (РЧП) образца, представляющего новую модификацию МП РЗА из серий ШЭ2607, ШЭ2607А, ШЭ2710, ШЭ2710А (рис. 1), конструктив которых отличается от предыдущих исполнений [7]. Испытания проводились в аккредитованных лабораториях: в испытательном центре ФГУП «ВНИИА» и в испытательной



Рис. 1. Шкафы МП РЗА серии ШЭ2607, ШЭ2710



Ильин

Владимир Федорович

Дата рождения: 09.09.1946.

Окончил в 1970 г.

Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (ЛЭТИ), кафедра «Промышленная электроника».

Кандидатскую диссертацию защитил в 1983 г.

Главный специалист ООО НПП «ЭКРА».



Федоров

Юрий Алексеевич

Дата рождения: 23.06.1964.

В 1986 г. окончил электротехнический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, в 1995 г. - там же аспирантуру.

Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, член РНК СИГРЭ.

Руководитель испытательной лаборатории Ассоциации «ИнтЭК» (№ RA.RU.21НВ23).

лаборатории Ассоциации «ИнтЭК», где образец готового изделия после успешного прохождения испытаний на ЭМС в объеме требований ГОСТ Р 51317.6.5, ГОСТ 32137 и норм СТО 56947007-29.240.044-2010 подвергался дополнительно исследовательским испытаниям, чтобы определить возможности освоения производством технологии и техники обеспечения ЭМС шкафов МП РЗА.

Общие сведения об испытуемом объекте

Испытуемым объектом (ИО) являлся шкаф защиты типа ШЭ2607 015, предназначенный для управления и защиты секционного (шиносоединительного) выключателя напряжением 110–220 кВ. ИО реализует функции автомата управления выключателем (АУВ), автоматического повторного включения (АПВ) и устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ). Содержит двухступенчатую максимальную токовую защиту (МТЗ) от многофазных КЗ (двухфазных, двухфазных на землю, трехфазных), трехступенчатую токовую ненаправленную защиту нулевой последовательности (ТЗНП) от КЗ на землю, защиту от непереключения фаз (ЗНФ) и от неполнофазного режима работы (ЗНФР) для выключателей с пофазным управлением электромагнитами.

ИО исполнен в стандартном 19" конструктиве с обзорной передней дверью из незащищенного стекла. Укомплектован терминалом типа БЭ2704, вспомогательным блоком контроля тока в цепи управления выключателем, промежуточными реле и испытательными блоками, блоком сетевого фильтра с встроенным емкостным накопителем. Аппаратная часть смонтирована на плите из оцинкованной стали с использованием принципа многоточечного заземления [8]. Монтаж выполнен проводными жгутами с разнесением линий соединения с высоковольтным оборудованием (соединения с трансформаторами на-

пряжения и тока и выключателем) от линий полевых и локальных соединений и линий оперативного питания. На боковинах шкафа смонтированы промежуточные клеммники для подключения кабелей внешних присоединений. В основании шкафа вблизи ввода кабелей внешних присоединений размещены шины заземления экранов кабелей со специализированными зажимами и хомутами для крепления и электрического соединения на 360° экранов кабелей. Для подключения главной шины заземления шкафа к заземлителю предусмотрен штатный плоский проводник.

Условия испытаний

Испытания проводились с использованием вспомогательного имитационного оборудования, с помощью которого осуществлялась проверка качества функционирования ИО в условиях внешних электромагнитных воздействий (рис. 2). ИО устанавливался в полубезэховой камере (ПБЭК) на вращающемся столе, где он размещался на изолированной подставке высотой 100 мм. Вспомогательное оборудование размещалось вне ПБЭК. Для подключения к портам ИО использовались кабели, типичные для реальных условий применения.

С помощью испытательного комплекса РЕТОМ-61 имитировались 3-фазные токи и напряжения на портах приема аналоговых сигналов и команды управления. Поддача дискретных сигналов осуществлялась через промежуточные электромеханические реле (имитатор дискретных сигналов).

Таблица 1. Установочные параметры и режимы функционирования ИО

Функции защиты	Значения уставок	Режимы функционирования ИО	
		нормальный	аварийный
МТЗ, I ст.	0,6 А; 1 с	I _A =0,13 А I _B =I _C =0,32 А	I _A =0,18 А I _B =I _C =0,48 А
МТЗ, II ст.	0,4 А; 2 с		
ТЗНП, I ст.	1 А; 1 с	0,2 А	0,3 А
ТЗНП, II ст.	0,25 А; 2 с		
R _н мин. U1	40 В	U _A =U _B =U _C =57,7 В	U _A =U _B =U _C =57,7 В
R _н макс. U2	4 В		
АПВ	2 с	-	I _A =0,18 А I _B =I _C =0,48 А T=2,5 с

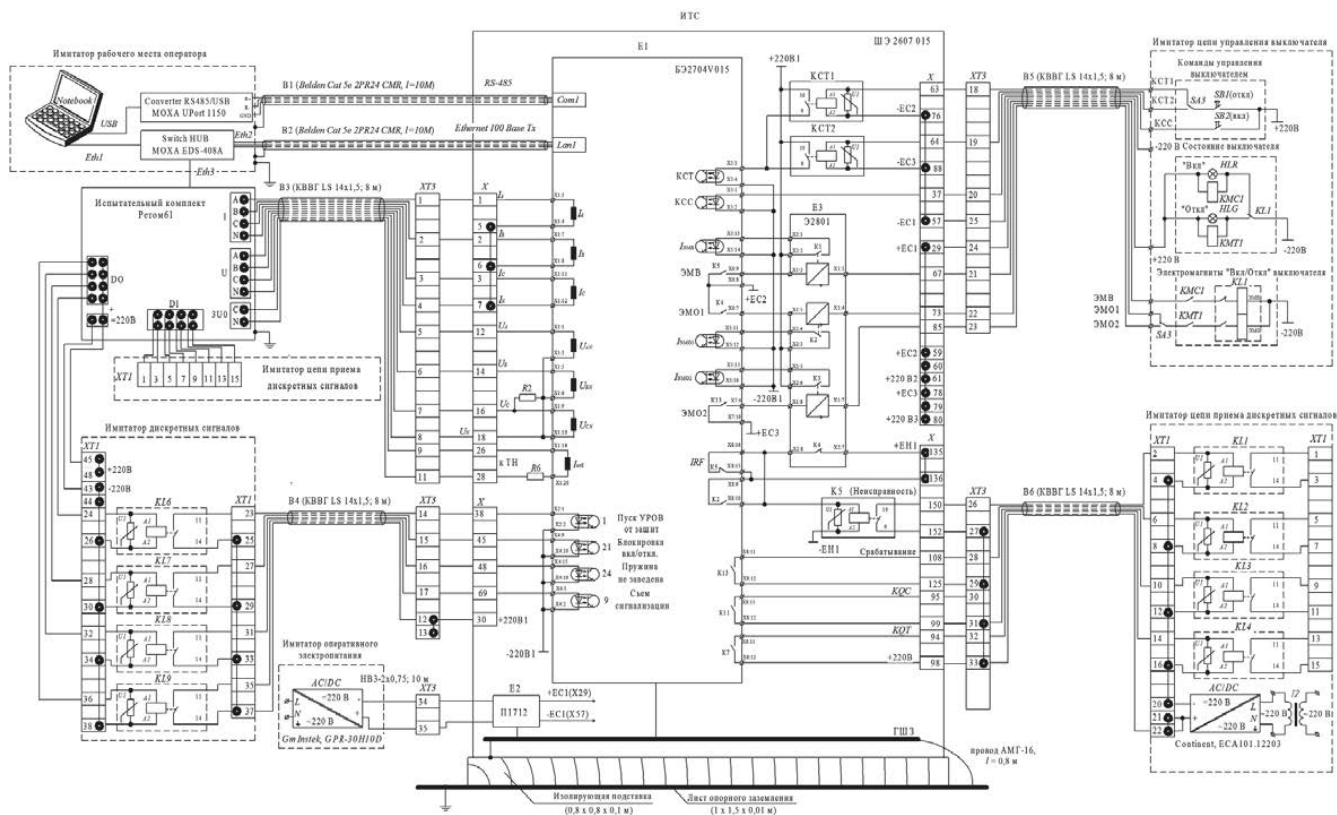


Рис. 2. Схема подключения вспомогательного оборудования



Ильин
Никита Владимирович
 Дата рождения: 24.09.1970 г.
 В 1994 г. окончил ЧГУ им.
 И.Н. Ульянова, кафедра
 «Промышленная электро-
 ника».
 Инженер-электроник 2 кате-
 гории ООО НПП «ЭКРА».

Порты вывода дискретных сигналов нагружались на аналогичные промежуточные реле (имитатор приема дискретных сигналов), их состояние контролировалось с помощью РЕТОМ-61. Порты управления высоковольтным выключателем подключались к имитатору цепи управления выключателя с трехфазным приводом. С помощью испытательного комплекса OMICRON CMC356 по каналу Ethernet производился обмен GOOSE-сообщениями.

В испытаниях были задействованы относительно протяженные кабели, смонтированные с разносением их по видам соединений с портами переменного напряжения и тока, дискретных входов и выходов, управления выключателем, оперативного питания и связи. Все это в определенной степени оказывает влияние на повторяемость результатов испытаний, которые достаточно достоверно могут быть распространены на аналогичные конструктивные исполнения.

Испытания проводились при функционировании ИО в условиях пониженных значений уставок на срабатывание токовых защит МТЗ и ТЗНП и напряжения $U_{PH\min}$ и $U_{PH\max}$ с помощью которых имитировался «наихудший» в отношении помеховосприимчивости режим работы (табл. 1).

Исследовательские испытания проводились поэтапно. На первом этапе проводились исследовательские испытания при нормальном функционировании ИО в режиме ожидания вблизи порога срабатывания токовых защит $I=0,8I_{ср}$, устанавливаемом подачей фазных токов $I_B=I_C=0,32$ А и $I_A=0,12$ А, при этом $3I_0 \approx 0,2$ А. На втором этапе проводились повторные испытательные процедуры при функционировании ИО в аварийном режиме ожидания вблизи порога возврата $I=1,2I_{ср}$, обеспечиваемом фазными токами: $I_B=I_C=0,48$ А и $I_A=0,18$ А, когда $3I_0 \approx 0,3$ А. Фазные напряжения устанавливались равными: $U_A=U_B=U_C=57,7$ В.

Задержки на срабатывание II ст. МТЗ и ТЗНП при включении выключателя устанавливались равными 0,05 с, задержки на ввод ускорения при включении выключателя - 0,7 с.

На каждом этапе перед началом и по окончании испытательных процедур производилась проверка функции «успешного» АПВ. Проверка осуществлялась подачей фазных токов: $I_B=I_C=0,48$ А и $I_A=0,18$ А на время 2,5 с.

Во время испытаний проводился непрерывный информационный обмен ИО с оператором в режиме реального времени.

Испытание на помехоэмиссию

Испытания на помехоэмиссию включали в себя измерения излучаемых от ИО помех в соответствии с методами и испытательным оборудованием по ГОСТ 30805.22-2013 [9]. В табл. 2 приведены нормы, опреде-

Таблица 2. Нормы помехоэмиссии

Измерительное расстояние	Норма напряженности поля для оборудования класса А, дБмкВ/м			
	диапазон частот, МГц	квазипиковое значение	пиковое значение	среднее значение
10 м (3 м)	30–230	40 (50)	-	-
	230–1000	47 (57)	-	-
3 м	1000–3000	-	76	56
	3000–6000	-	80	60

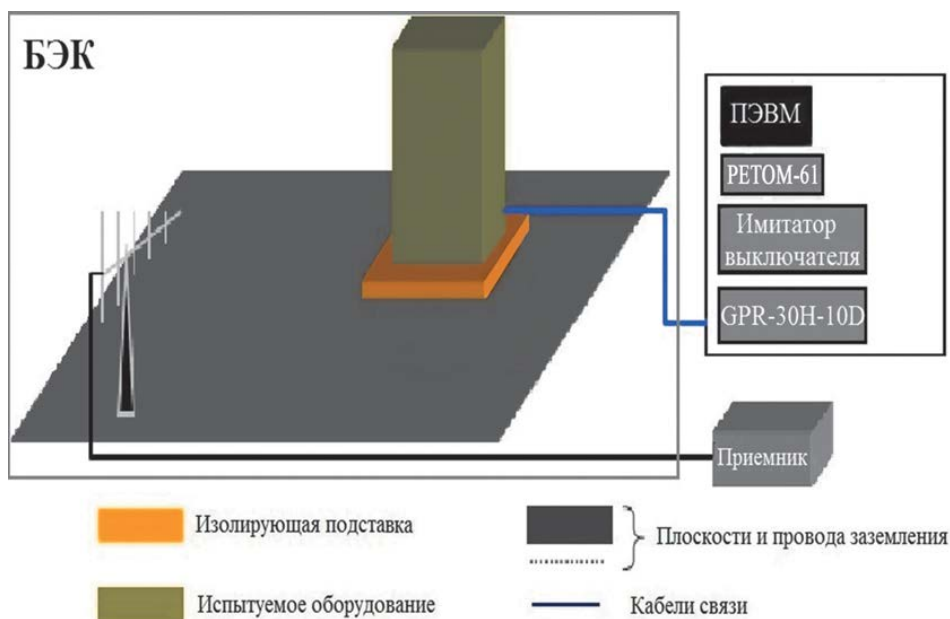


Рис. 3. Установка для испытания на помехоэмиссию

ленные для оборудования класса А. Измерения эмиссии проводились в экранированной ПБЭК. ИО размещался ПБЭК на расстоянии 3 м от фазового центра измерительной антенны, вспомогательное и контрольно-измерительное оборудование размещались за пределами ПБЭК (рис. 3).

В диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц стандарт регламентирует предельные уровни напряженности электромагнитного поля, измеряемого с использованием квазипикового детектора при нормированном измерительном расстоянии от фазового центра антенны до фронтальной плоскости ИО равном 10 м. Для испытательной установки с измерительным расстоянием 3 м предельные уровни повышаются на 10 дБ (в табл. 2 в скобках указаны нормы, приведенные к измерительному расстоянию 3 м). В диапазоне частот от 1 ГГц до 6 ГГц регламентируются предельные уровни напряженности поля, измеряемой с использованием пикового де-

тектора и детектора среднего значения при измерительном расстоянии 3 м.

Результаты испытания на помехоэмиссию

На рис. 4–9 приведены результаты, полученные в ходе углубленных исследовательских испытаний на помехоэмиссию одного из первых образцов новой модификации шкафа защиты типа ШЭ2607 015, проводимых в испытательной лаборатории ФГУП «ВНИИА». Перед началом испытаний, как обычно, проводились контрольные замеры собственного шума испытательной установки, включающей в себя вынесенный за пределы ПБЭК измерительный приемник с программным аттенуатором 10 дБ и размещенные в ПБЭК логопериодическая антенна типа СВЛ66112 с антенным трактом и обесточенный ИО (рис. 4). Повышенный уровень шума, наблюдаемый в метровом диапазоне в частотном сегменте 37–43 МГц (спектрограмма в левой части рис. 4), обусловлен влиянием относительно длинных кабелей, соединяющих ИО с находящимся вне камеры вспомогательным оборудованием.

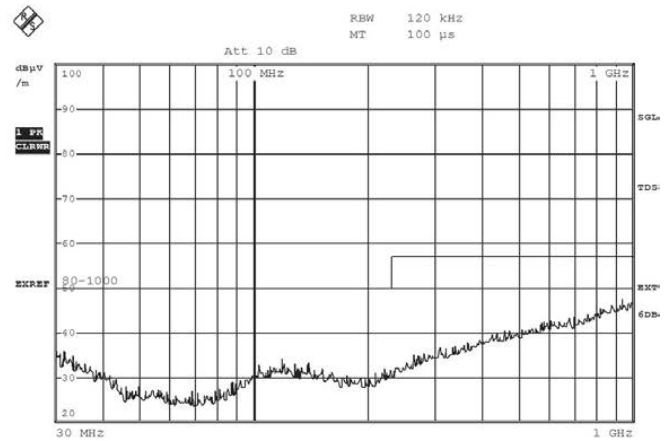
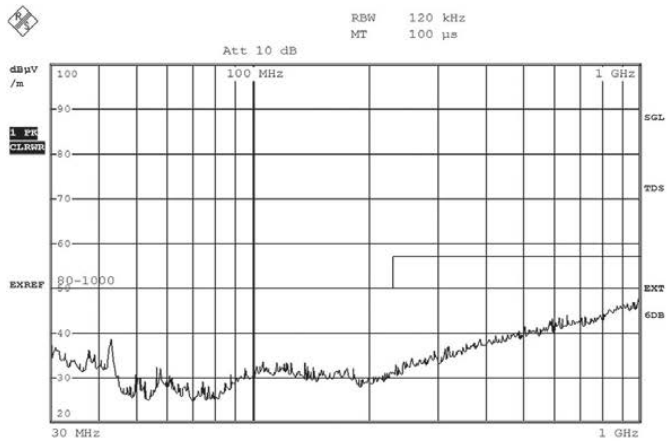


Рис. 4. Результаты контрольных измерений собственного шума испытательной установки в составе измерительного приемника с аттенуатором 10 дБ, размещенного вне БЭК, и антенного тракта с измерительной антенной, размещенной в БЭК на расстоянии 3 м от обесточенного ИО (кривая слева), и собственного шума измерительного приемника с аттенуатором 10 дБ при отключенном антенном кабеле (кривая справа)

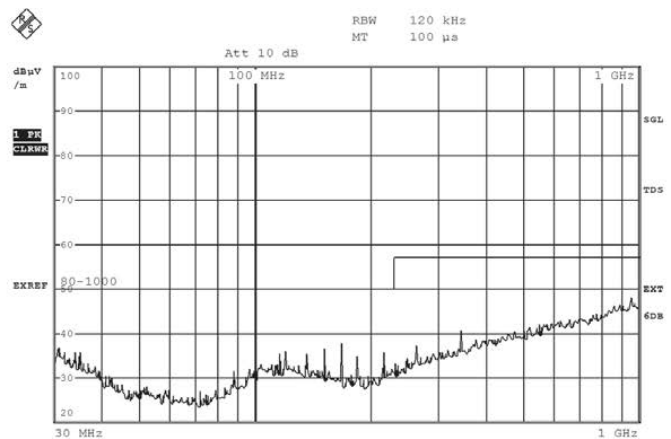
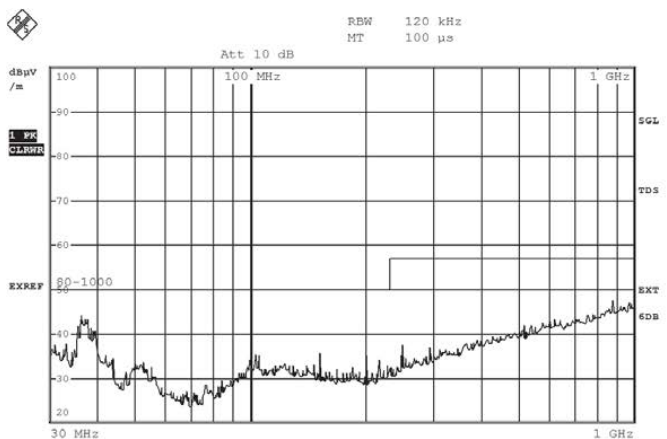


Рис. 5. Результаты измерения эмиссии от передней (лицевой) стороны ИО при вертикальной (кривая слева) и горизонтальной (кривая справа) поляризации измерительной антенны

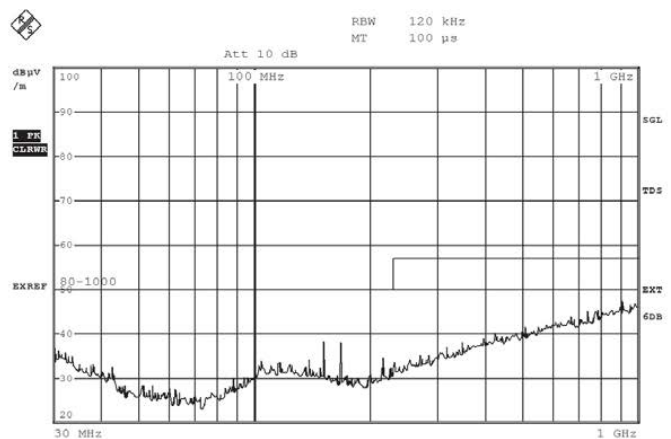
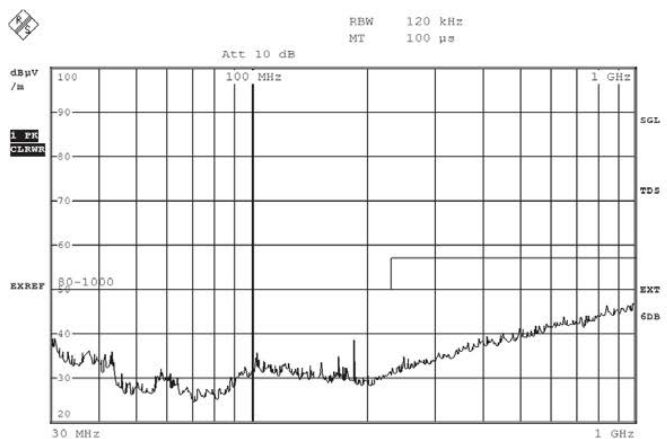


Рис. 6. Результаты измерений эмиссии от задней стороны (задние двери закрыты) ИО при вертикальной (кривая слева) и горизонтальной (кривая справа) поляризации измерительной антенны

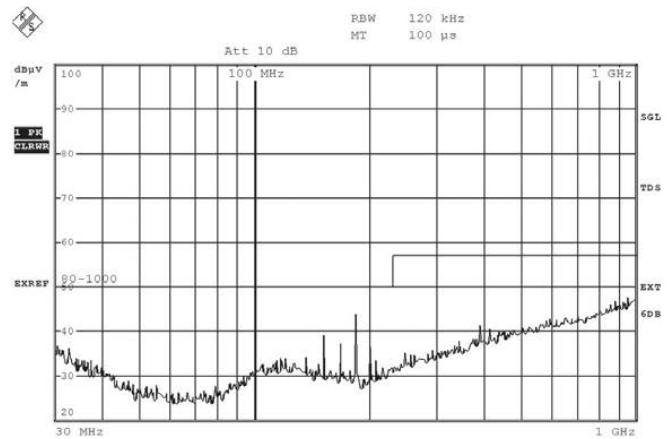
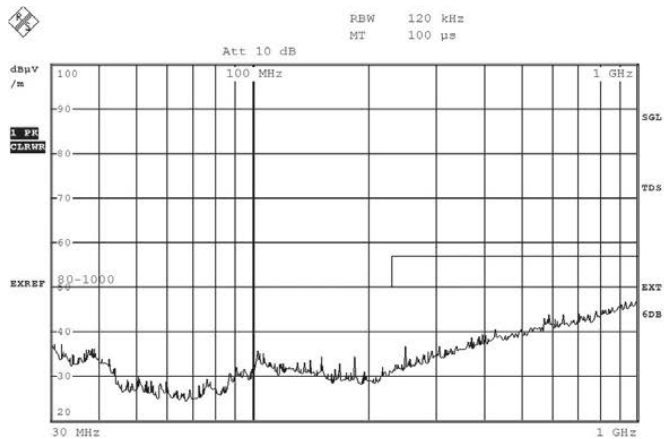


Рис. 7. Результаты измерений эмиссии от левой боковой стороны ИО при вертикальной (кривая слева) и горизонтальной (кривая справа) поляризации измерительной антенны

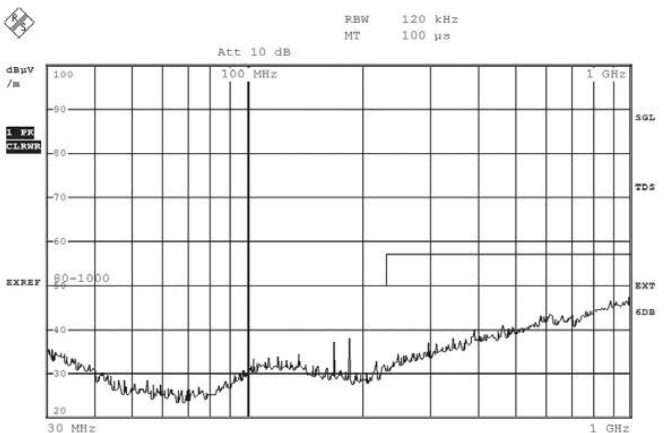
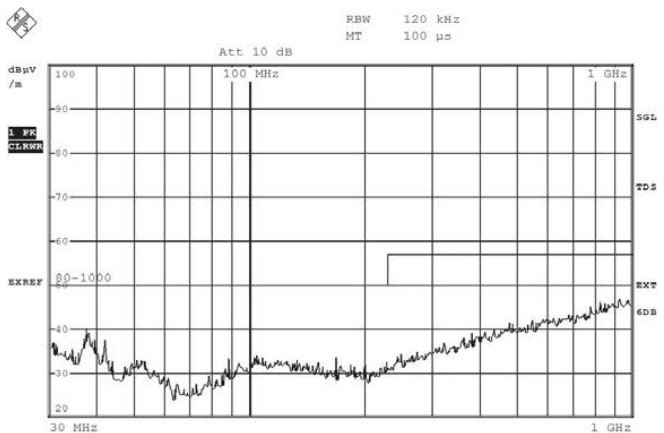


Рис. 8. Результаты измерений эмиссии от правой боковой стороны ИО при вертикальной (кривая слева) и горизонтальной (кривая справа) поляризации измерительной антенны

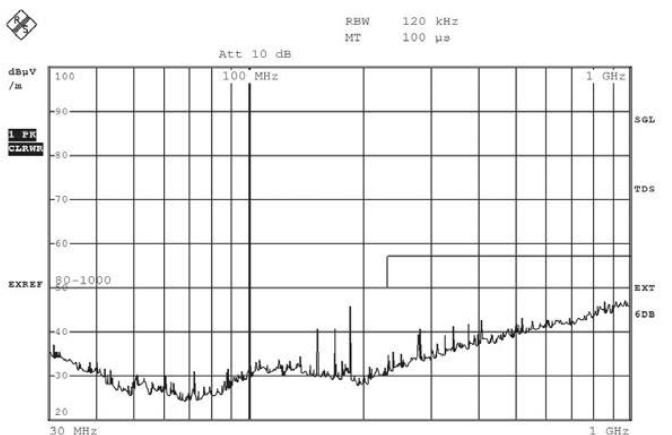
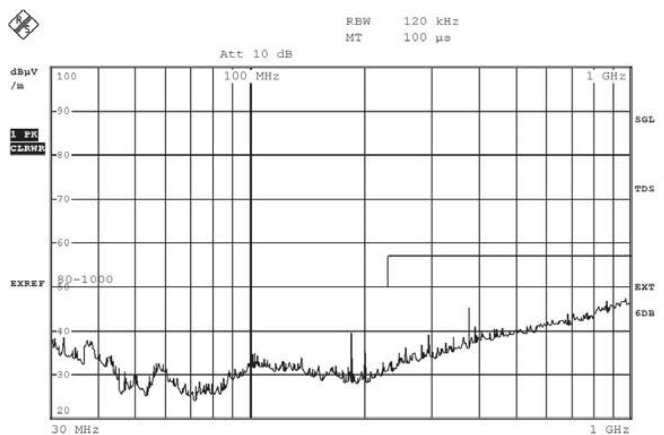


Рис. 9. Результаты измерений эмиссии от задней стороны (задние двери открыты) ИО при вертикальной (кривая слева) и горизонтальной (кривая справа) поляризации измерительной антенны

После чего проводились измерения напряженности радиочастотного электромагнитного поля, излучаемого при нормальном функционировании испытуемого шкафа РЗА в типичных рабочих условиях с закрытой задней дверью (рис. 5–8). Измерения проводились в диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц с использованием пикового детектора для двух положений измерительной антенны: при вертикальной и горизонтальной поляризации. Поскольку измеренные пиковые значения не превышали предельной линии, дополнительные замеры с использованием квазипикового детектора не проводились (квазипиковые значения заведомо ниже пиковых значений).

Видно, что интенсивность излучения от лицевой стороны ИО (обзорная дверь) и от задней стороны («глухая» дверь) незначительно превышает шум в частотном сегменте 35–40 МГц и 100–200 МГц (рис. 5, 6). Если в частотном сегменте 35–40 МГц повышение уровня излучения можно соотнести с влиянием сигнальных присоединений, определяющих режим функционирования ИО, то в частотном сегменте 100–200 МГц повышенный уровень обусловлен только электронной аппаратурой в составе ИО. Отметим, что в условиях нормального функционирования ИО уровень излучаемого поля от лицевой и задней сторон достаточно мал, максимальное пиковое значение напряженности излучаемого радиочастотного электромагнитного поля более чем на 12 дБ ниже предельного уровня, определенного для квазипиковых значений.

Большая интенсивность излучения имеет место от боковых сторон ИО, вдоль которых расположены промежуточные клеммники с кабелями и жгутами внутренних и внешних соединений (рис. 7 и 8). Причем наибольший уровень излучений наблюдается от левой боковины ИО в частотном сегменте 150–190 МГц. Отметим, что и в этом случае по отношению к предельному

уровню сохраняется достаточно большой запас – более 6 дБ.

На практике при внеочередном оперативном обслуживании шкафа РЗА на местах эксплуатации или в период пусконаладки работы ведутся в условиях распашнутых передних и задних дверей шкафа РЗА. Применительно к ИО с обзорной передней дверью вопрос о возрастании интенсивности излучения от лицевой стороны не столь актуален. Рис. 9 иллюстрирует картину излучения при работе ИО с распашнутыми задними дверями.

Видно, что по сравнению с излучением с закрытыми задними дверями (рис. 6) максимальный уровень излучения оказывается выше на 10–12 дБ. В то же время уровень помехоэмиссии по-прежнему ниже предельного квазипикового значения, в отношении которого имеется запас почти на 6 дБ.

Следующий рис. 10 иллюстрирует характеристики помехоэмиссии изделия, прошедшего периодические испытания в области ЭМС в испытательной лаборатории Ассоциации «ИНТЭК», которые проводились спустя 5 лет после проведения углубленных исследовательских испытаний. Результаты измерения максимальной эмиссии ИО получены с помощью автоматизированной испытательной установки, управляемой ПО EMC32 Rohde&Schwarz, обеспечивающей непрерывный процесс измерения с автоматическим регулированием угла поворота вращающего стола от 0 до 270° с шагом 90°, регулированием высоты антенны от 1 до 4 м с шагом 1 м и положения вертикальной и горизонтальной поляризации измерительной антенны. Измерения в диапазоне частот от 30 МГц до 6 ГГц осуществлялись с помощью антенны типа VULB 9162 и приемника ESR7. На спектрограммах (рис. 10) предварительных измерений символами голубой и зеленый квадрат отмечены результаты финальных измерений максимальных квазипиковых и

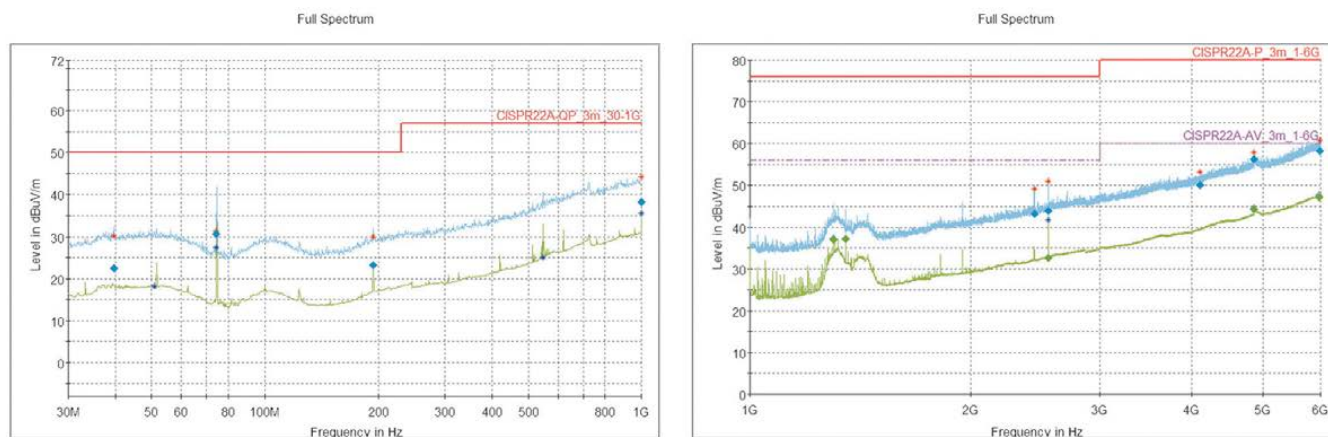


Рис. 10. Результаты измерения максимальной эмиссии от ИО, выполненные с помощью измерительной антенны типа VULB 9162

средних значений соответственно. Результаты финальных измерений сведены в табл. 3 и 4. Согласно экспериментальным данным подвергнутый типовым испытаниям шкаф РЗА характеризуется пониженным уровнем эмиссии излучаемых помех. Это означает, что системные методы исследования и разработки технических мероприятий по обеспечению ЭМС, отработанные на ранних этапах разработки технологии новой модификации МП РЗА, успешно освоены производством.

Испытания на помехоустойчивость

Испытания ИО на помехоустойчивость проводились в соответствии с требованиями основополагающего стандарта ГОСТ 30804.4.3-2013 [10] и норм, определенных действующими в электроэнергетике стандартами (табл. 5).

Испытания проводились в ПБЭК с использованием излучающей антенны, установленной на высоте 1,55 м. Воздействие осуществлялось радиочастотным электромагнитным полем с амплитудной модуляцией с частотой 1кГц и глубиной 80%, перестройка частоты проводилась со скоростью $1,5 \times 10^{-3}$ декад/с. Воздействие осуществлялось методом полного облучения при вертикальной и горизонтальной поляризации излучающей антенны. Расположение излучающей антенны и поглощающего материала на полу камеры при испытаниях

соответствовало расположению при калибровке однородности поля.

Контроль работоспособности и функционирования ИО в условиях электромагнитного воздействия осуществлялся визуально и по результатам функционирования встроенной системы диагностики. Оценка качества функционирования осуществлялась путем сопоставления функционирования ИО во время и после электромагнитного воздействия с нормальным функционированием до электромагнитного воздействия.

Испытательными критериями помехоустойчивости ИО являлись следующие факторы, характеризующие отклонения от нормального функционирования:

- отсутствие изменений состояния световых индикаторов;
- отсутствие на дисплее искажений или потери информации, сообщений о неисправности блоков и системных сбоях ИО;
- отсутствие несанкционированных событий, фиксируемых по журналам событий ИО и испытательных комплексов РЕТОМ-61, OMICRON CMC356;
- отсутствие повреждений ИО или его составных частей.

Приемочными критериями по качеству функционирования являлись:

Таблица 3. Результаты финальных измерений в диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц

Частота, МГц	Квазипиковое значение, дБмкВ/м	Норма, дБмкВ/м	Маржа, дБ	Время измерения, мс	Полоса частот, кГц	Высота антенны, см	Поляризация антенны	Азимут стола, град
39.725304	22.42	50.00	27.58	1000.0	120.000	100.0	Верт.	180.0
74.261491	30.56	50.00	19.44	1000.0	120.000	190.0	Верт.	90.0
193.285558	23.24	50.00	26.76	1000.0	120.000	126.0	Верт.	0.0
1000.000000	38.32	57.00	18.68	1000.0	120.000	276.0	Верт.	0.0

Таблица 4. Результаты финальных измерений в диапазоне частот от 1 до 6 ГГц

Частота, МГц	Пиковое значение, дБмкВ/м	Среднее значение, дБмкВ/м	Норма, дБмкВ/м	Маржа, дБ	Полоса частот, кГц	Высота антенны, см	Поляризация антенны	Азимут стола, град
1300.00	---	36.97	56.00	19.03	1000.000	201.0	Верт.	0.0
1350.00	---	37.26	56.00	18.74	1000.000	201.0	Верт.	0.0
2438.00	43.21	---	76.00	32.79	1000.000	301.0	Гориз.	0.0
2547.20	---	32.63	56.00	23.37	1000.000	301.0	Верт.	0.0
2547.20	43.86	---	76.00	32.14	1000.000	301.0	Верт.	0.0
4109.20	50.16	---	80.00	29.84	1000.000	101.0	Гориз.	180.0
4865.60	---	44.26	60.00	15.74	1000.000	101.0	Верт.	0.0
4868.40	56.32	---	80.00	23.68	1000.000	101.0	Верт.	90.0
5973.60	---	47.18	60.00	12.82	1000.000	101.0	Верт.	0.0
5989.20	58.32	---	80.00	21.68	1000.000	101.0	Верт.	180.0

Таблица 5. Нормы, регламентированные стандартами на продукцию

Стандарт на продукцию	Испытательная норма			
	диапазон частот, МГц	напряженность поля, В/м	степень жесткости испытаний	качество функционирования ИО
ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5:2001)	80–3000	10	3	Критерий А
ГОСТ IEC 61000-6-5-2017	80–1000, 1000–2700, 2700–6000	10	3	Критерий А
		3	2	Критерий А
		1	1	Критерий А
ГОСТ 32137-2013	80–1000, 800–960, 1400–2000	10	3	Критерий А
		30	4	Критерий А
		30	4	Критерий А
СТО 56947007-29.240.044-2010	80–1000	10	3	Критерий А
СТО 56947007-29.120.70.241-2017	80–1000, 1400–6000	10	3	Критерий А
		10	3	Критерий А

Таблица 6. Результаты испытаний ИО на помехоустойчивость

Параметры электромагнитного воздействия		Степень жесткости испытаний	Режим функционирования	Положение задних дверей	Отклонения от нормального функционирования	Качество функционирования
напряженность поля, В/м	диапазон частот, МГц					
10	80–6000	3	Нормальный	Закрыты	Нет	Критерий А
				Открыты	Нет	Критерий А
			Аварийный	Закрыты	Нет	Критерий А
				Открыты	Нет	Критерий А
30	800–960, 1400–6000	4	Нормальный	Закрыты	Нет	Критерий А
				Открыты	Нет	Критерий А
			Аварийный	Закрыты	Нет	Критерий А
				Открыты	Нет	Критерий А

- критерий А – в ходе испытаний отсутствуют отклонения от нормального функционирования, ИО нормально функционирует во время и после снятия электромагнитного воздействия;
- критерий В – во время электромагнитного воздействия допускаются изменения состояния световых индикаторов, искажения или потеря информации на дисплее терминала и прерывания передачи диагностической информации с последующим самовосстановлением нормального функционирования ИО после снятия электромагнитного воздействия;
- критерий С – для восстановления нормального функционирования ИО после прекращения электромагнитного воздействия требуется вмешательство оператора.

Исходя из того, что данный вид изделия может применяться на объектах электроэнергетики различных отраслей, было принято решение определить экспериментально потенциальную помехоустойчивость новой модификации изделия. Во время углубленных исследовательских испытаний первый образец новой модификации шкафа РЗА подвергался воздействию излучаемых помех в расширенном диапазоне частот от 80 МГц до 6 ГГц при напряженности поля 10 В/м и 30 В/м. Причем на первом этапе ИО испытывался в типичных рабочих условиях с закрытыми дверями, на втором этапе – с открытыми задними дверями. В том и другом случае результаты испытания на помехоустойчивость были успешны по качеству функционирования в соответствии с критерием А (табл. 6).

Измерение ближнего поля внутри корпуса

После проведения испытаний на помехоустойчивость были инициированы испытательные процедуры с измерением ближнего поля внутри корпуса ИО с использованием трехосевого лазерного пробника поля типа AR FL7006. Основопологающими стандартами подобные измерения не регламентируются по той причине, что невозможно обеспечить повторяемость результатов измерений. Поэтому приведенные ниже результаты исследовательских испытаний носят частный характер и рассматриваются как предварительные.

Измерение поля внутри корпуса ИО осуществлялось изотропным датчиком поля, размещенным на задней

плите терминала вблизи левой боковины шкафа. Напомним, что в отношении левой боковой стороны наблюдался наиболее высокий уровень излучаемых помех в частотном сегменте 100–200 МГц, следовательно, внутри корпуса ИО вблизи левой боковины шкафа возможны полевые аномалии в условиях внешнего воздействия. Рис. 11 иллюстрирует напряженность поля в контрольной точке в условиях воздействия на левую боковую сторону ИО внешнего поля напряженностью 10 В/м в диапазоне частот от 80 МГц до 1 ГГц. Действительно, в точке размещения датчика внутри корпуса ИО напряженность поля оказывается существенно выше внешнего воздействия в частотном сегменте 140–220 МГц,

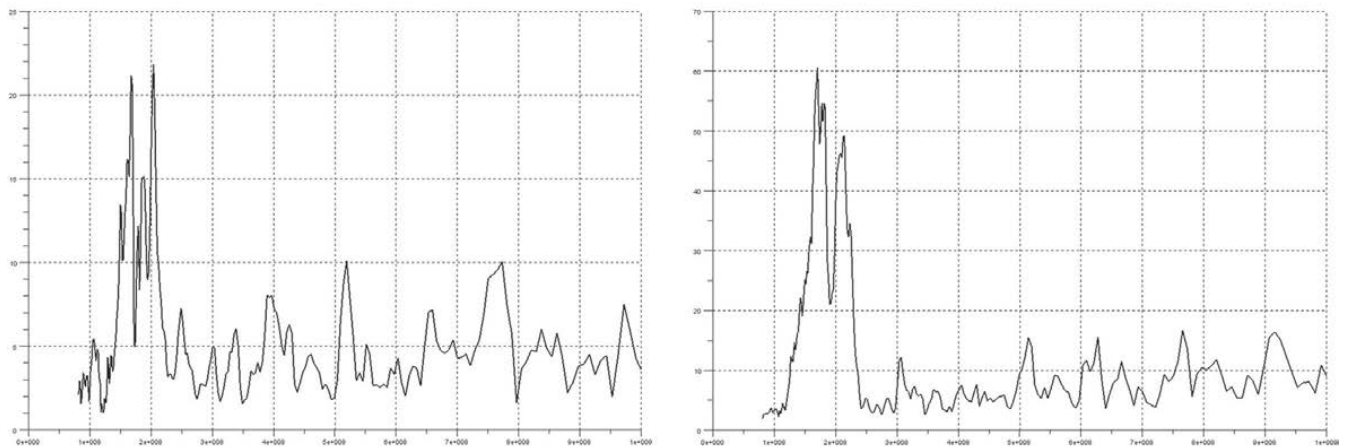


Рис. 11. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса ИО при воздействии внешнего поля напряженностью 10 В/м, 80 – 1000 МГц на левую боковую сторону при вертикальной (левая кривая) и горизонтальной (правая кривая) поляризации излучающей антенны: $E_{M\text{вср}}=24$ В/м, $f\approx 200$ МГц; $E_{M\text{гор}}=60$ В/м, $f\approx 170$ МГц

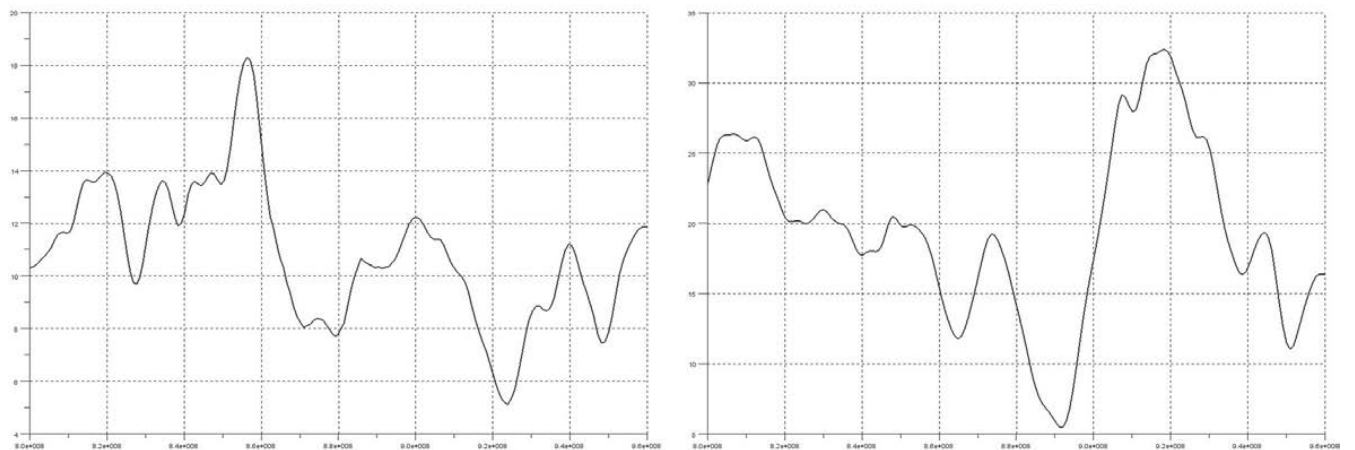


Рис.12. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса при воздействии внешнего поля напряженностью 30 В/м, 800 - 960 МГц на левую боковую сторону ИО при вертикальной (левая кривая) и горизонтальной (правая кривая) поляризации излучающей антенны: $E_{M\text{вср}}=18,5$ В/м, $f\approx 856$ МГц; $E_{M\text{гор}}=35,5$ В/м, $f\approx 918$ МГц

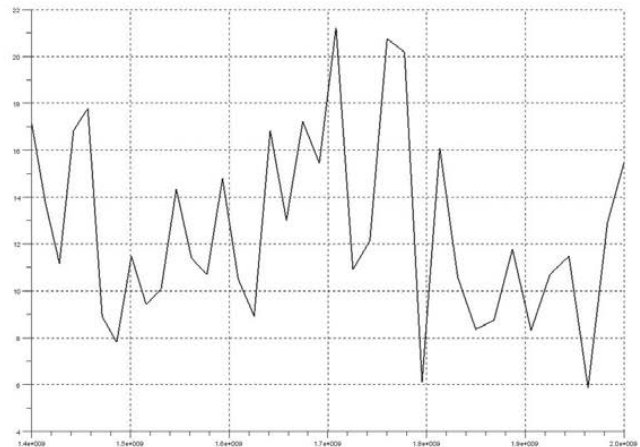
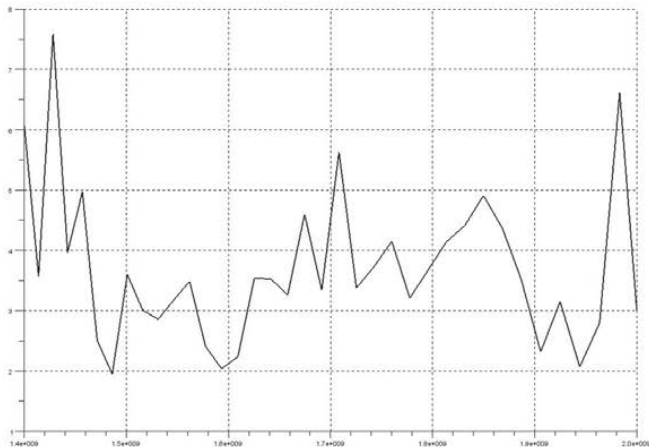


Рис.13. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса при воздействии внешнего поля напряженностью 30 В/м, 1,4 - 2 ГГц на левую боковую сторону ИО при вертикальной (левая кривая) и горизонтальной (правая кривая) поляризации излучающей антенны: $E_{M_{верт}}=7,5$ В/м, $f \approx 1,43$ ГГц; $E_{M_{гор}}=21$ В/м, $f \approx 1,71$ ГГц

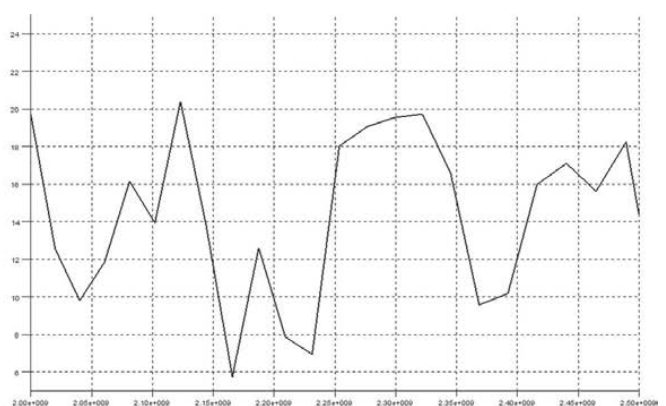


Рис.14. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса при воздействии внешнего поля напряженностью 30 В/м на переднюю (лицевую) сторону ИО в диапазоне частот 1 - 2 ГГц (левая кривая) и 2 - 2,5 ГГц (правая кривая) при вертикальной поляризации излучающей антенны: $E_{M_{верт}}=21$ В/м, $f \approx 1,62$ ГГц; $E_{M_{верт}}=20,5$ В/м, $f \approx 2,12$ ГГц

На других частотах напряженность поля соизмерима с внешним воздействием. В частности, при вертикальной поляризации излучающей антенны максимальный уровень напряженности поля составляет $E_{M_{верт}}=24$ В/м ($f \approx 200$ МГц), а при горизонтальной поляризации он достигает $E_{M_{гор}}=60$ В/м ($f \approx 170$ МГц). Многократное превышение внешнего воздействия на 10–20 дБ в той или иной точке внутри корпуса на той или иной частоте может быть вызвано явлением переотражения от элементов конструкции внутри корпуса ИО [11]. В данном случае сам по себе этот фактор не приводил к нарушению и отклонению нормального функционирования ИО, поскольку в процессе испытаний в условиях закрытых и открытых задних дверей качество функционирования ИО соответствовало критерию А.

Следующие рисунки иллюстрируют картину в контрольной точке при внешнем воздействии на левую боковину ИО с напряженностью поля 30 В/м в диапазоне частот от 800 до 960 МГц (рис. 12) и от 1,4 до 2 МГц (рис. 13) в соответствии с требованиями ГОСТ 32137-2013. Видно, что максимальная напряженность поля в контрольной точке внутри корпуса лишь в отдельных частотных сегментах оказывается соизмеримой с уровнем внешнего воздействия.

При воздействии на корпус ИО с лицевой стороны (рис. 14) поле в контрольной точке внутри корпуса в 2–3 раза или на 6–10 дБ выше, чем при воздействии на левую боковину (сравните кривые, соответствующие вертикальной поляризации на рис. 12 и 13). Это обусловлено тем, что функцию защитной оболочки с лицевой

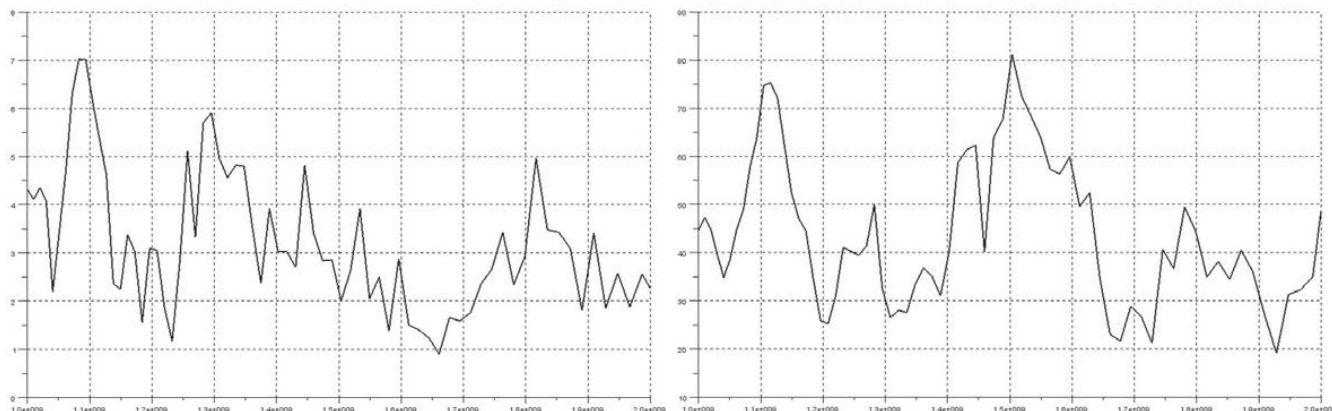


Рис. 15. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса при воздействии внешнего поля напряженностью 30 В/м, 1 - 2 ГГц на заднюю сторону ИО при вертикальной поляризации излучающей антенны, когда задние двери закрыты (левая кривая) и открыты (правая кривая): $E_{Мзакр}=7$ В/м, $f\approx 1,08$ ГГц; $E_{Моткр}=81$ В/м, $f\approx 1,5$ ГГц

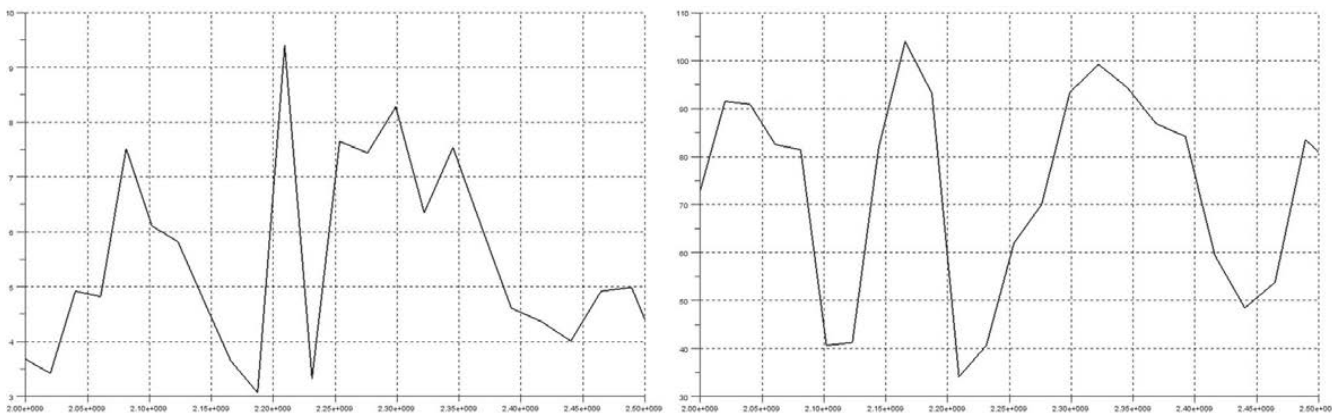


Рис. 16. Результаты измерения напряженности поля внутри корпуса при воздействии внешнего поля напряженностью 30 В/м, 2 - 2,5 ГГц на заднюю сторону ИО при вертикальной поляризации излучающей антенны, когда задние двери закрыты (левая кривая) и открыты (правая кривая): $E_{Мзакр}=9,4$ В/м, $f\approx 2,21$ ГГц; $E_{Моткр}=104$ В/м, $f\approx 2,17$ ГГц

вой стороны выполняет монтажная плита, экранирующий эффект которой несколько хуже «глухой» боковой оболочки шкафа.

Приведенные ниже спектрограммы (рис. 15, 16) призваны дать наглядное представление об экранирующих свойствах «глухих» задних дверей в частотном секторе 1–2,5 ГГц. Во-первых, при воздействии на заднюю сторону ИО при закрытом положении задних дверей напряженность поля в контрольной точке внутри корпуса в 3 раза или на 10 дБ ниже, чем при воздействии на лицевую сторону, что указывает на определенную значимость «глухой» оболочки корпуса по сравнению с не столь «глухой» конструкцией монтажной плиты. Во-вторых, при внешнем воздействии в условиях открытых задних дверей ИО напряженность в контрольной точке внутри

корпуса на порядок или на 20 дБ выше, чем в условиях с закрытыми задними дверями. Причем напряженность ближнего поля в контрольной точке вблизи терминала в узком частотном сегменте превышает 100 В/м.

Из того, что и в этих условиях результаты испытания ИО соответствовали критерию качества функционирования А, следует, что внешние оболочки ИО не являются доминирующими средствами защиты от излучаемых РЧП. Не менее важную роль играют скрытые в конструкции распределенные емкости и индуктивности, которые могут ослаблять либо усиливать помехи на определенных частотах.

Последующие периодические испытания образца типового шкафа РЗА, проведенные в типичных эксплуатационных условиях с закрытой задней дверью и с ис-

пользованием норм повышенной степени жесткости испытаний по ГОСТ 32137-2013 (см. табл. 5, 6), также были успешными по критерию функционирования А, как и 5 лет назад при исследовательских испытаниях первого образца. Это указывает на то, что ЭМС характеристики шкафов РЗА с обзорной дверью из серии ШЭ2607 и ШЭ2710 соответствуют самым высоким требованиям в отношении устойчивости к излучаемым помехам. Судя по тому, что результаты испытаний, проведенных в независимых испытательных лабораториях ФГУП «ВНИИА» и Ассоциации «ИнТЭК», полностью повторились с временным интервалом через 5 лет, можно предполагать, что производством достаточно полно освоены технология и техника ЭМС в отношении данного вида продукции.

Выводы

Для того, чтобы поддерживать неизменным высокое качество продукции, необходим комплексный подход к испытаниям изделий. Особенно важными представляются углубленные исследовательские испытания в области ЭМС на стадии разработки и проектирования новых модификаций и платформ. Важно изначально детально отработать всевозможные проблемные вопросы в части эмиссии и устойчивости к внешним воздействиям и определить потенциальные возможности в отношении обеспечения эксплуатационных запасов, допускающих относительно свободные изменения комплектации и конструкции в последующих исполнениях.

Используемые для конфигурации МП РЗА монтажные шкафы рамной конструкции из-за технологических неоднородностей, нарушающих целостность проводящей поверхности корпуса, имеют относительно низкую степень ВЧ-экранирования. В зависимости от конструктивных особенностей эффективность экранирующих внешних оболочек может составлять лишь 6–20 дБ в диапазоне частот 80 МГц–6 ГГц.

В связи с явлением переотражения от элементов конструкции напряженность радиочастотного поля внутри корпуса шкафа РЗА на отдельных частотах может превышать внешнее воздействие более чем на 10 дБ. В аномальных условиях, когда задние двери со стороны монтажной части находятся в открытом положении, помеховый потенциал в отдельных точках внутри корпуса может превышать внешнее воздействие на 20 дБ или более.

Литература:

1. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5:2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.
2. ГОСТ ИЕС 61000-6-5-2017. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6-5. Общие стандарты. Помехоустойчивость оборудования, используемого в обстановке электростанции и подстанции.
3. ГОСТ 32137-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний.
4. СТО 5694 7007-29.240.043-2010. «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов». СТО 5694 7007-29.24.044-2010. «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства». - М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 170 с. [Библиотека электротехника. Вып. 9-10 (141-142)].
5. СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. - М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2017.
6. Арцишевский Я.Л., Серегина Т.А., Ильин В.Ф. Использование коэффициента запаса по помехоустойчивости при обеспечении электромагнитной совместимости МП РЗА // Релейная защита и автоматизация. – 2013. – № 02 (09). – С. 42 – 47.
7. Ильин В.Ф., Сетойкин В.Ф., Сарылов В.Н., Сарылов О.Н. Электромагнитная совместимость шкафов защит серии ШЭ 2607 и ШЭ 2710 / Сб. докл. XX конф. Релейная защита и автоматика энергосистем. – М.: Научно-инженерное информационное агентство. – 2010. – С. 358 – 362.
8. Ильин В.Ф., Ильин Н.В. Заземление в шкафах микропроцессорных защит // Релейная защита и автоматизация. - 2013. - № 01 (10). - С. 26 – 30.
9. ГОСТ 30805.22-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные. Оборудование информационных технологий. Нормы и методы измерений.
10. ГОСТ 30804.4.3-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний.
11. Иванов А.А., Квасников А.А., Куксенко С.П., Комнатнов М.Е. Прототип программного модуля для оценки эффективности корпусов радиоэлектронных средств // Технологии ЭМС. – 2019. – № 4 (71). – С. 5 – 15. 

ПОДПИСКА

через редакцию в 2020 году

печатная версия **1000 руб.**

электронная версия **500 руб.**

в т.ч.10% НДС + пересылка



srzau-ric.ru

adv@srzau-ric.ru