

А.Г. КЕССАЕВ, аспирант НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ПОМЕХ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ КАБЕЛЕЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

На основе проведенных измерений уровня частичных разрядов в силовых кабельных линиях выполнен анализ влияния внутренних и внешних помех на полученные результаты. Показано, что учет особенностей освещения лаборатории, степени ее экранированности, а также качества заземления измерительной аппаратуры приводит к повышению точности определения ЧР.

Ключевые слова: частичные разряды, экранирование, рабочее освещение, заземление.

Введение. Проводя какие-либо измерения, будь то электростатические, магнитостатические или электромагнитные параметры объекта исследования, мы сталкиваемся с проблемой помехозащищенности, как измерительной цепи, так и самого образца. Эффективным методом снижения уровня электромагнитного излучения является экранирование их источников. В соответствии с типом проводимого эксперимента, различают следующие способы экранирования: электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное.

Электростатическое и магнитостатическое экранирование основаны на замыкании экраном (обладающим в первом случае высокой электропроводностью, а во втором – магнитопроводностью) соответственно электрического и магнитного полей.

Электростатическое экранирование по существу сводится к замыканию электростатического поля на поверхность металлического экрана и отводу электрических зарядов на землю (на корпус прибора). Заземление электростатического экрана является необходимым элементом при реализации электростатического экранирования.

Применение металлических экранов позволяет полностью устранить влияние электростатического поля. При использовании диэлектрических экранов, плотно прилегающих к экранируемому элементу, можно ослабить поле источника наводки в ϵ раз, где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость материала экрана.

Экранирование высокочастотного магнитного поля основано на использовании магнитной индукции, создающей в экране переменные индукционные вихревые токи (токи Фуко). Магнитное поле этих токов

© А. Г. Кессаев. 2014

внутри экрана будет направлено навстречу возбуждающему полю, а за его пределами – в ту же сторону, что и возбуждающее поле. Результирующее поле оказывается ослабленным внутри экрана и усиленным вне его. Вихревые токи в экране распределяются неравномерно по его сечению (толщине). Это вызвано явлением поверхностного эффекта. Благодаря поверхностному эффекту плотность вихревых токов и напряжённость переменного магнитного поля по мере углубления в металл падают по экспоненциальному закону.

Эффективность магнитного экранирования зависит от частоты и электрических свойств материала экрана. Чем ниже частота, тем слабее действует экран, тем большей толщины приходится его делать для достижения одного и того же экранирующего эффекта. Для высоких частот, начиная с диапазона средних волн, экран из любого металла толщиной 0,5-1,5 мм действует весьма эффективно. При выборе толщины и материала экрана следует учитывать механическую прочность, жёсткость, стойкость против коррозии, удобство стыковки отдельных деталей и осуществления между ними переходных контактов с малым сопротивлением, удобство пайки, сварки и пр.

На высоких частотах применяется исключительно электромагнитное экранирование. Действие электромагнитного экрана основано на том, что высокочастотное электромагнитное поле ослабляется им же созданным (благодаря образующимся в толще экрана вихревым токам) полем обратного направления.

Цель статьи – обоснование использования защитных электромагнитных экранов при проведении высокочастотных измерений на примере диагностики кабелей по характеристикам частичных разрядов.

Для оценки эффективности экранирования электрической или магнитной составляющей электромагнитного поля вводят понятие коэффициента экранирования (ослабления):

$$A_E = 20 \lg(E_0/E_A), \quad (1)$$

$$A_H = 20 \lg(H_0/H_A), \quad (2)$$

где A_E – коэффициент экранирования (ослабления) по электрической составляющей электромагнитного поля, дБ;

A_H – коэффициент экранирования (ослабления) по магнитной составляющей электромагнитного поля, дБ;

E_0 – напряжённость электрической составляющей электромагнитного поля в точке измерения в отсутствие экрана, В/м;

E_A – напряжённость электрической составляющей электромагнитного поля в точке измерения при наличии экрана, В/м;

H_0 - напряжённость магнитной составляющей электромагнитного поля в точке измерения в отсутствие экрана, А/м;

H_A - напряжённость электрической составляющей электромагнитного поля в точке измерения при наличии экрана, А/м.

Материалы экранов. Металлические материалы (сталь, медь, алюминий, цинк, латунь), применяемые для экранирования, изготавливаются в виде листов, сеток и фольги. Все эти материалы удовлетворяют требованию устойчивости против коррозии при использовании соответствующих защитных покрытий.

Теория и практика показывают, что с точки зрения стоимости материала и простоты изготовления преимущества на стороне экранированного помещения из листовой стали.

Наиболее технологичными являются конструкции экранов из стали, так как при их изготовлении и монтаже можно широко использовать сварку или пайку. Металлические листы должны быть между собой электрически соединены по всему периметру. Шов электросварки или пайки должен быть непрерывным, с тем чтобы получить цельносварную конструкцию экрана. Толщина стали выбирается исходя из назначения конструкции экрана и условий его сборки, а также из возможности обеспечения сплошных сварных швов при изготовлении.

Экраны из стали обеспечивают ослабление электромагнитного излучения более чем на 100 дБ (см. табл. 1).

Сетчатые экраны проще в изготовлении, удобны для сборки и эксплуатации. Для защиты от коррозии сетки целесообразно покрывать антикоррозийным лаком. К недостаткам сетчатых экранов следует отнести невысокую механическую прочность и меньшую эффективность экранирования по сравнению с листовыми.

Для сетчатых экранов пригодна любая конструкция шва, обеспечивающая хороший электрический контакт между соседними полотнищами сетки не реже чем через 10-15 мм. Для этой цели может применяться пайка или точечная сварка.

Экран, изготовленный из лужёной низкоуглеродистой стальной сетки с ячейкой 2,5-3 мм, даёт ослабление порядка 55-60 дБ, а из такой же двойной (с расстоянием между наружной и внутренней сетками 100 мм) около 90 дБ. Экран, изготовленный из одинарной медной сетки с ячейкой 2,5 мм, имеет ослабление порядка 65-70 дБ.

Экраны, изготавливаемые из фольги, имеют толщину 0,01-0,05 мм. Монтаж экранов из фольги достаточно прост, крепление фольги к основе экрана проводится чаще всего с помощью клея.

Материалы-диэлектрики также используются в качестве основы для создания экранов

Таблица 1 - Предельно достижимые величины ослабления электромагнитных излучений для различных типов экранирующих помещений

Тип конструкции экранированного помещения	Степень экранирования, дБ
Одиночный экран из сетки; одиночная экранированная дверь, оборудованная зажимными устройствами; внутренние рольставни на окно; специальные электрические фильтры; экранирующие фильтры для притока и вытяжки (вентиляционные).	40
Одиночный экран из металлизированной ткани; одиночная экранированная дверь, оборудованная зажимными устройствами; экранированное окно с экранированным стеклом, внутренние рольставни на окно; специальные электрические фильтры; экранирующие фильтры для притока и вытяжки (вентиляционные).	60
Двойной экран из сетки или металлизированной ткани; двойная экранированная дверь-тамбуром и зажимными устройствами конструкция; специальные электрические фильтры; экранирующие фильтры для притока и вытяжки (вентиляционные).	80
Сплошной стальной экран; пневматическая экранированная дверь; специальные электрические фильтры; экранирующие фильтры для притока и вытяжки (вентиляционные).	100

В обычных (неэкранированных) помещениях основной экранирующий эффект обеспечивают железобетонные стены домов (табл. 2).

Как правило, степень экранирования обычных помещений невысока вследствие наличия в них окон, дверей и вентиляционных отверстий, поэтому их экранированию необходимо уделять первостепенное внимание (см. табл. 2).

Таблица 2 - Степень экранирующего действия различных типов зданий

Тип здания	Степень экранирования, дБ		
	100 МГц	500 МГц	1000 МГц

Продолжение таблицы 2

Оконный проём 30 % от площади стены			
Кирпичное здание с толщиной стен 1,5 кирпича	13-15	15-17	16-19
Железобетонное здание с ячейкой арматуры 15 x15 см и толщиной стен 160 мм	20-25	18-19	15-17
Оконный проём 30 % от площади стены, закрытый металлической решёткой с ячейкой 5 x 5 см			
Кирпичное здание с толщиной стен 1,5 кирпича	17-19	20-22	22-25
Железобетонное здание с ячейкой арматуры 15 x15 см и толщиной стен 160 мм	28-32	23-27	20-25

Требования к экранированным помещениям. Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств (ТС) является наиболее широкой областью применения экранированных помещений.

Экранированное помещение - это экранированное или имеющее металлические внутренние поверхности помещение, сконструированное специально для отделения внутренней электромагнитной обстановки от внешней в целях предотвращения ухудшения качества функционирования ТС при воздействии внешних полей и ослабления электромагнитных излучений от ТС во внешнее пространство (ГОСТ Р 51317.4.3-99). Параметры помех, в зависимости от электромагнитной обстановки, могут изменяться в достаточно широких пределах. Возможные диапазоны электромагнитных помех приведены в таблице 3.

В зависимости от эффективности экранирования (рис.1) и конструктивного исполнения экранированные камеры (ЭК) подразделяют на три класса в соответствии с табл. 4.

Таблица 3 – Возможные диапазоны параметров помех

Параметр	Значение
Частота, Гц	0 – 10^{10}
Максимальное значение напряжения, В	10^{-6} – 10^6
Скорость изменения напряжения, В/с	0 – 10^{12}
Напряженность электрического поля, В/м	0 – 10^5
Максимальное значение тока, А	10^{-9} – 10^5
Длительность импульса, с	10^{-8} – 10
Энергия импульса, Дж	10^{-9} – 10^7

Таблица 4 - Классификация экранированных камер

Классы экранированных камер	<i>I класс</i>	II класс	III класс
Эффективность экранирования*, дБ	<i>Свыше 80 до 120</i>	Свыше 30 до 80	До 30 включительно
Конструктивное исполнение	<i>Неразборная</i>	Неразборная, сборно-разборная	

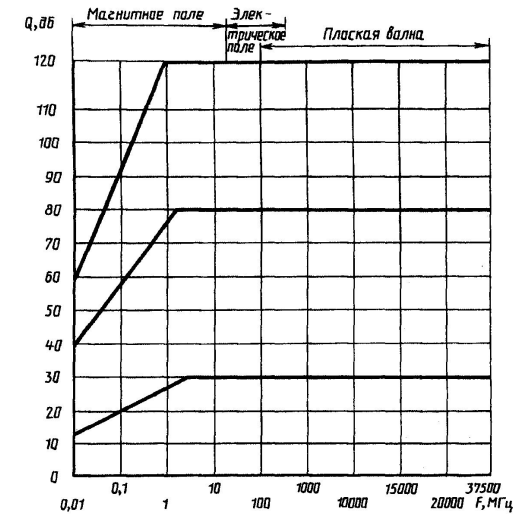


Рис. 1. - Зависимость эффективности экранирования ЭК от частоты

Рабочее освещение. В качестве источника рабочего освещения в экранированных камерах необходимо применять лампы накаливания. Допускается применять люминесцентные лампы, если уровень создаваемых ими электромагнитных помех на порядок ниже чувствительности технических средств и испытательной аппаратуры, расположенных в ЭК.

Не допускается применять лампы типа ДРЛ (дуговая, ртутная, люминесцентная) и ДРИ (дуговая, ртутная с излучающими добавками). В ЭК должно быть предусмотрено аварийное освещение.

Влияние рабочего освещения на проведение измерений ЧР. При проведении испытаний не всегда есть возможность использовать 56 ISSN 2224-0349. Вісник НТУ «ХПИ». 2014. № 56 (1098)

экран либо ЭК. В таких случаях рекомендуется уменьшать длину защитного заземления измерительной аппаратуры, так как оно может служить «антенной», и любое возмущение электромагнитного поля будет приниматься как сигнал измерения. Такими источниками помех могут служить любые газоразрядные лампы (смотри рис.2).

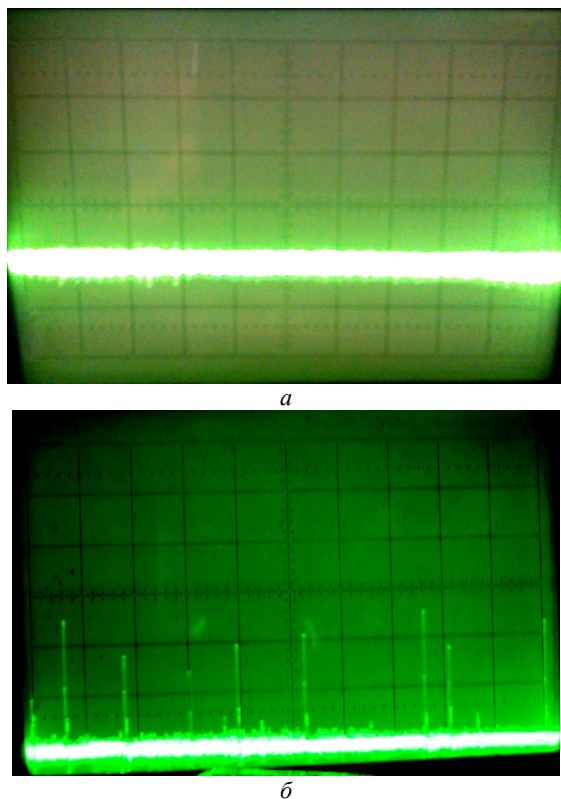


Рис.2 – Фото осциллограммы шумов схемы: *a* – отключенном основном оборудовании и осветительных люминесцентных ламп типа ДРЛ; *б* – при включенных лампах типа ДРЛ. Цена делений: по горизонтали 2 мс/дел; по вертикали 2 В/дел, что соответствует 2 пКл/дел (При общем усилении 89 дБ: 20 дБ (предварительный усилитель) + 100 дБ (основной усилитель) – (1+2+4+16+8) дБ (ослабление) = 89 дБ.

Важно отметить, что время проводимого испытания прямо пропорционально чувствительности схемы измерения (рис. 3).

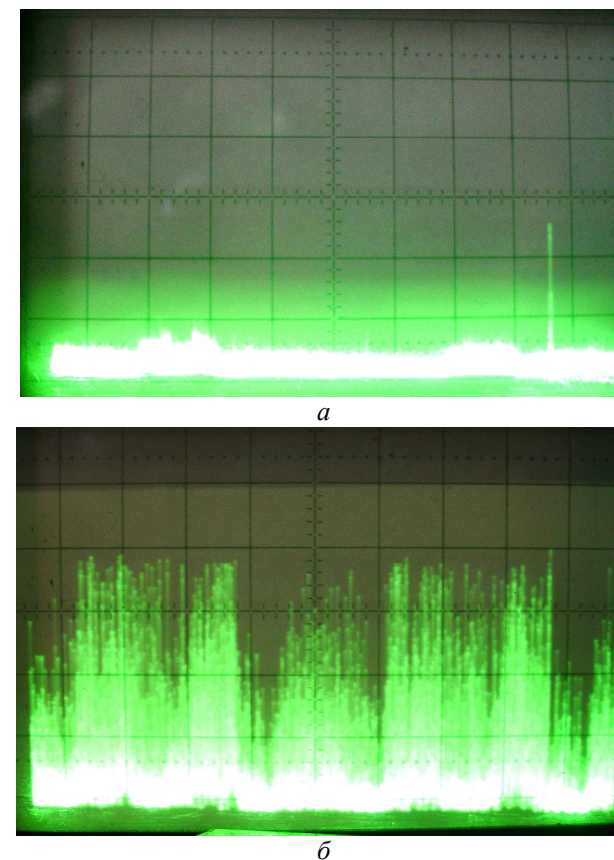


Рис.3 – Фото осциллограммы шумов схемы: *a* – до начала работы *б* – после. Цена делений: по горизонтали 2 мс/дел; по вертикали 1 В/дел, что соответствует 1 пКл/дел (При общем усилении 77 дБ: 20 дБ (предварительный усилитель) + 80 дБ (основной усилитель) – (1+2+4+16) дБ (ослабление) = 77 дБ.

В то же время, при использовании длинной заземлительной цепочки (имеется в виду, что приборы подключены одним контуром) или при плохом качестве экранирования высокочастотных усилителей имеют место «наводки», которые могут возникать от рабочего освещения. Так, проводя измерения уровня ЧР в кабельной линии при включенных

лампах дневного света, мы получаем «мнимые» частичные разряды (рис.4).

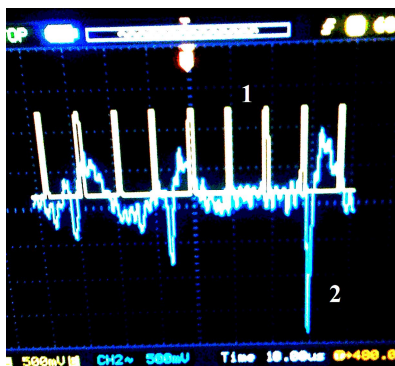


Рис. 4 – Осциллограмма поданных прямоугольных импульсов (1) и результатов измерения с включенными лампами типа ДРЛ (2)

Как видим, амплитуда полученного результирующего сигнала превышает вводимый практически в два раза, что существенно осложняет оценку ЧР испытуемого образца. В то же время, заземля измерительную аппаратуру наименьшим контуром и применяя в качестве осветительных приборов лампы накаливания, получаем меньшие флуктуации результирующего сигнала (3, рис. 5), возникающие большей частью от работы самих элементов измерительной цепи.

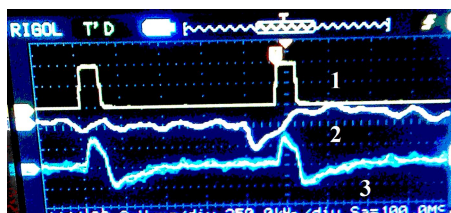


Рис. 5 – Результаты измерения ЧР при максимально уменьшенных внешних и внутренних помехах. 1 – вводимый прямоугольный импульс; 2 – полученный сигнал ЧР; 3 – результирующий сигнал

Выводы. Таким образом, отсутствие экранированного помещения осложняет проведение исследований электростатического, магни-

тостатического и электромагнитного полей. Также, некачественное заземление или большая длина контуров заземления измерительной аппаратуры способствует получению некорректного результата измерения. Повешения точности эксперимента по обнаружению ЧР кабельной линии можно добиться путем использования одинаковых материалов и сечений заземляющих элементов и ламп накаливания.

Список литературы: 1. ГОСТ 30373 – 95 Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. Классы, основные параметры, технические требования и методы испытаний. 2. ГОСТ Р 51317.6.2 - 99 (МЭК 61000 – 6 - 2 - 99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний. 3. ГОСТ Р 51318.15 - 99 (СИСР 15- 96). Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электрического светового и аналогичного оборудования. Нормы и методы испытаний. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 21177 - 82. 4. Стандарт МЭК 60270. Методы высоковольтных испытаний. Измерение частичных разрядов. Издание третье, 2000 г. – 55 с. 5. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. / Г. С. Кучинский - Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 224 с.

Bibliography (transliterated): 1. GOST 30373 – 95 Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Oborudovanie dlja ispytanij. Kamery jekranirovannye. Klassy, osnovnye parametry, tehnicieskie trebovanija i metody ispytanij. 2. GOST R 51317.6.2 - 99 (MEKK 61000 – 6 - 2 - 99). Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Ustojchivost' k jelektromagnitnym pomexam tehniceskikh sredstv, primenjaemyh v promyslennyh zonah. Trebovanija i metody ispytanij. 3. GOST R 51318.15 - 99 (SISPR 15- 96). Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Radiopomehi industrial'nye ot jelektricheskogo svetovogo i analogichnogo oborudovanija. Normy i metody ispytanij. Srok vvedenija 01.01.2001 g. Vzamen GOST 21177 - 82. 4. Standart MEKK 60270. Metody vysokovol'tnyh ispytanij. Izmerenie chastichnyh razrjadov. Izdanie tret'e, 2000 g. – 55 s. 5. Kuchinskij G.S. Chastichnye razrjady v vysokovol'tnyh konstrukcijah. Leningrad: Jenergija. 1979.

Поступила (received) 26.11.2014