

Основные виды помех, опасных для электронной аппаратуры, и их характеристики

1. Помехи от высоковольтного и силового оборудования

1.1 Потенциалы на заземляющих устройствах при коротких замыканиях

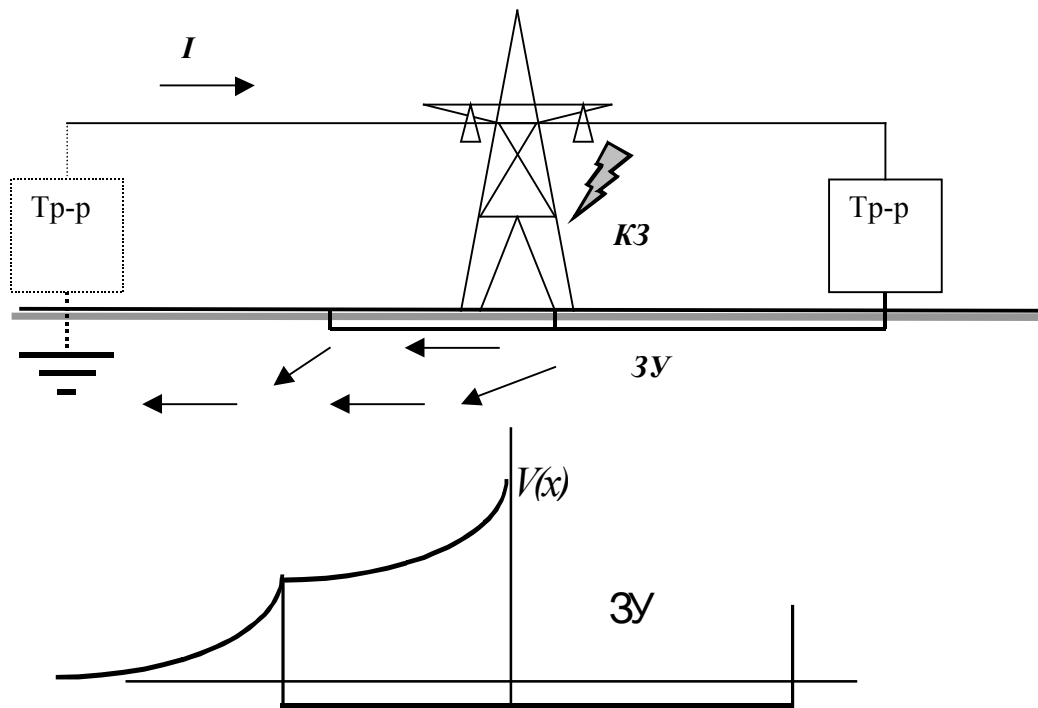


Рисунок 1

Амплитуда: до 5—10 кВ, обычно — 2—3 кВ.

Действие на аппаратуру:

- Повреждение интерфейсов цепей и оболочек кабелей, связывающих аппаратуру на объекте с удаленной аппаратурой.
- Если цепи питания выходят за пределы объекта — повреждение блоков питания.

Испытания аппаратуры: Проверка электрической прочности изоляции по различным входам.

Диагностика: Проверка сопротивления растеканию объекта $R_{\text{рас}} < 0,5 \text{ Ом}$

Методы борьбы: Прокладка дополнительных заземлителей; защита цепей с помощью разделительных трансформаторов, оптических вставок и т.п.

1.2 Разности потенциалов между различными частями ЗУ

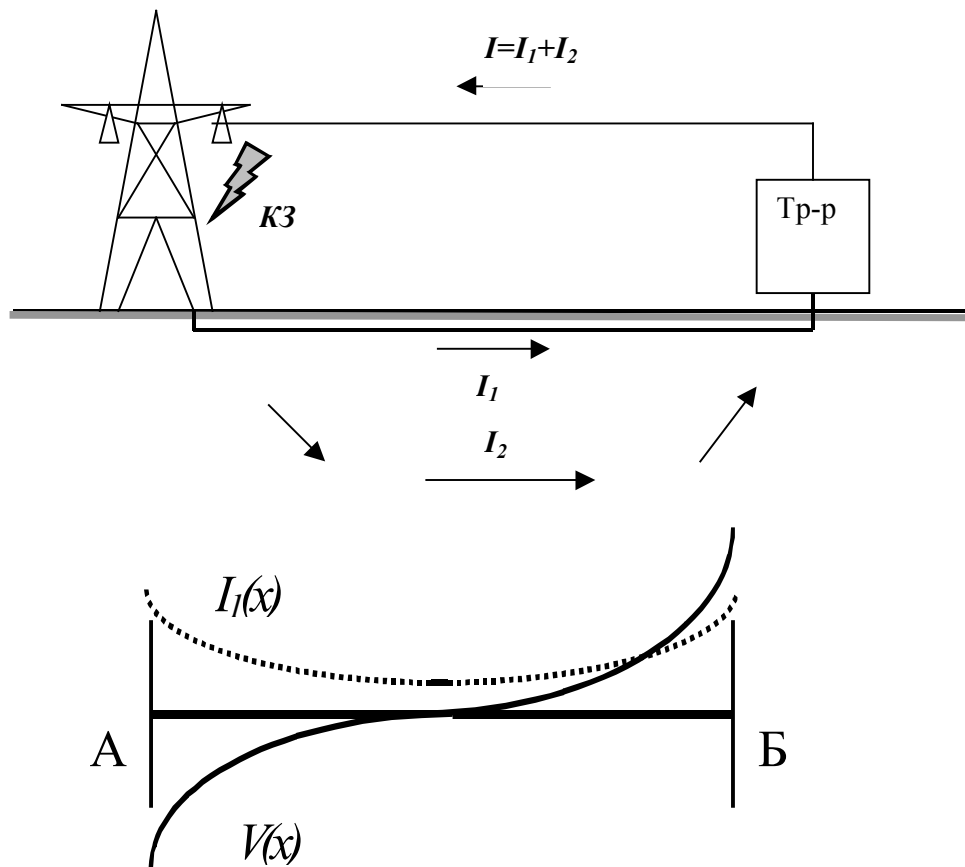


Рисунок 2

Амплитуда: до 1–2 кВ при отсутствии дефектов ЗУ, до нескольких десятков кВ при наличии дефектов.

Действие на аппаратуру:

- Повреждение интерфейсных элементов аппаратуры и оболочек кабелей, не выходящих за пределы объекта.
- Если заземление нейтрали питающего трансформатора оказалось в пределах зоны подъема потенциала возможно повреждение блоков питания.

Испытания аппаратуры: Проверка электрической прочности изоляции по входам питания и информационных цепей.

Диагностика: Проверка сопротивлений оснований силовых аппаратов и размещенного рядом оборудования: $R_{\text{осн}} < 0,1 \text{ Ом}$.

Методы борьбы: Прокладка дополнительных заземлителей, соединяющих «оторвавшиеся» аппараты с основным ЗУ; защита цепей с помощью разделительных трансформаторов, оптических вставок и т.п.

1.3 Особенности существующих ЗУ

- Стальные заземлители подвержены коррозии
- Часто встречаются значительные отклонения от проектной документации
- Общее заземляющее устройство для силового и информационного оборудования
- Возможен вынос потенциала по цепям питания.
- Трассы кабелей управления и связи часто проходят вблизи от заземления высоковольтных электроаппаратов.

1.4 Импульсные помехи и поля при коммутациях силовых цепей

Механизм генерации: Коммутации силового оборудования разъединителями и выключателями приводят к возникновению многократного пробоя воздушного промежутка с образованием дуги и протеканием значительных импульсных токов. Аналогичные помехи – электротранспорт, промышленное оборудование, печи.

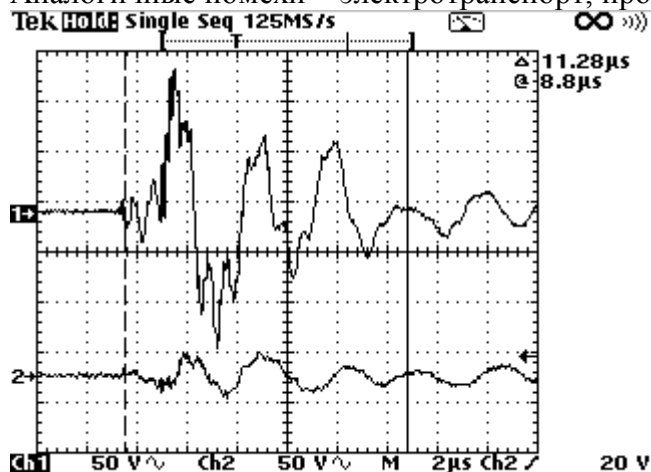


Рисунок 3. Коммутационная помеха на ПК КС-220 (газовая компрессорная станция под Смоленском)

Амплитуда: обычно сотни вольт, но фиксируются величины до 5 кВ.

Длительность фронта: от сотен нс до нескольких мкс, на элегазовых объектах – десятки нс

Действие на аппаратуру:

- Ложные срабатывания, сбои и «зависания» цифровой аппаратуры.
- Кратковременное ухудшение качества каналов связи.
- Повреждение интерфейсов цепей, проходящих вблизи от места коммутации.

Испытания аппаратуры: Устойчивость к затухающим синусоидальным колебаниям по ГОСТ 29280, устойчивость к наносекундным импульсным помехам – НИП, ГОСТ 29156 (ГОСТ Р 51317.4.4-99, МЭК 1000-4-4-95), устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии – МИП, ГОСТ Р 50007 (ГОСТ Р 51317.4.5-99, МЭК 1000-4-5-95).

Диагностика: Измерение помех осциллографом с запоминанием или использование автономных импульсных регистраторов (АИР).

Методы борьбы: Установка фильтров, варисторов и полупроводниковых ограничителей на входах цепей; экранирование кабелей, улучшение заземления

1.5 Поля промышленной частоты

Электрическое поле — десятки кВ/м, но легко экранируется

Магнитное поле — до 100 А/м

При КЗ значение магнитного поля возрастает до нескольких сотен А/м

Действие на аппаратуру:

- Искажение изображения на дисплеях (ЭЛТ)
- Низкочастотные помехи в каналах связи.

Опасность для персонала: Есть данные о канцерогенности, влиянии на нервную и сердечно-сосудистую системы

Испытания аппаратуры: Устойчивость к магнитным полям промышленной частоты по ГОСТ Р 50648 (ГОСТ Р 51317.4.8-99, МЭК 1000-4-8-93).

Диагностика: Измерение специальными приборами, при КЗ – расчет.

Методы борьбы: Изменение трасс кабелей и мест размещения аппаратуры, экранирование (малоэффективно для магнитного поля)

2. Грозовые разряды

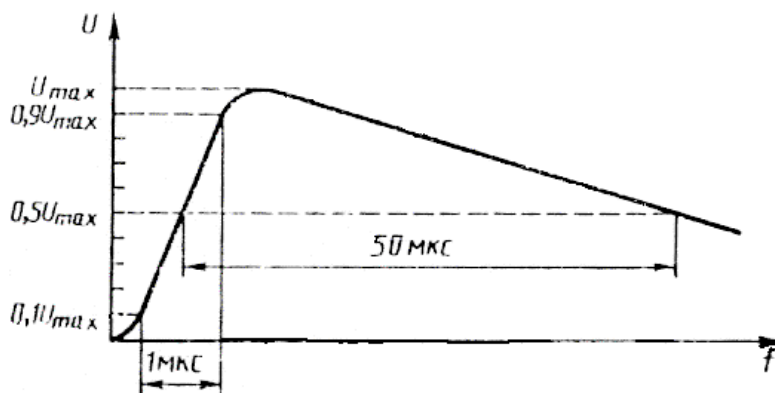


Рисунок 4. Стандартный грозовой импульс 1,2/50 по МЭК

Длительность фронта: единицы мкс.

2.1 Грозовые потенциалы на элементах ЗУ

Механизм генерации: Прямой удар молнии по территории объекта или вблизи трассы кабелей.

Ситуация – примерно как при КЗ на территории объекта с возвратом тока к удаленному источнику

Особенность: Значительные перепады импульсного потенциала в пределах большого ЗУ. Причина — повышенное сопротивление элементов ЗУ на высокой частоте.

Потенциал $V(x)$

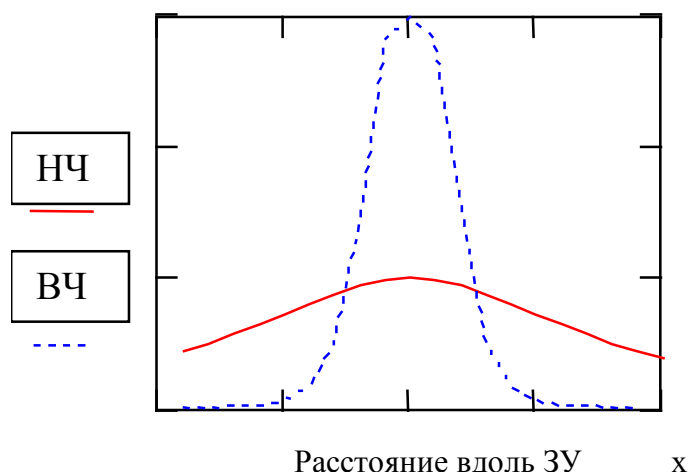


Рисунок 5

Амплитуда: До 10 кВ, обычно – до 4 кВ. По ГОСТ в цепях питания – до 6 кВ!

Действие на аппаратуру:

- Повреждение интерфейсов цепей и оболочек кабелей (как выходящих, так и не выходящих за пределы объекта).
- Повреждение блоков питания.

Испытания аппаратуры: Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии – МИП, ГОСТ Р 50007 (ГОСТ Р 51317.4.5-99, МЭК 1000-4-5-95).

Диагностика: Использование специальных генераторов (неточно), экспериментально-расчетный метод.

Методы борьбы: Изменение трасс кабелей и мест размещения аппаратуры, установка разрядников, варисторов, специальных комбинированных сетевых фильтров и т.п.; улучшение заземления элементов грозозащиты.

2.2 Поля и наводки от грозовых разрядов

Наводки в цепях кабелей – действуют примерно так же, как и помехи из-за грозовых потенциалов. Возможно непосредственное воздействие полей на аппаратуру (в основном – устройства на базе ЭЛТ)

Испытания аппаратуры: Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии – МИП, ГОСТ Р 50007 (ГОСТ Р 51317.4.5-99, МЭК 1000-4-5-95), устойчивость к импульсным полям – ГОСТ Р 50649 (ГОСТ Р 51317.4.9-99, МЭК 1000-4-9-93).

Диагностика: Анализ схем грозозащиты с последующим расчетом наводок.

Методы борьбы: Изменение трасс кабелей и мест размещения аппаратуры, установка разрядников, варисторов, специальных комбинированных сетевых фильтров и т.п.; улучшение заземления элементов грозозащиты, экранирование кабелей и аппаратуры.

2.3 Особенности существующих объектов, влияющие на уровень помех при грозовых разрядах

- Заземление молниеотводов вблизи от трасс кабелей
- Плохое заземление молниеотводов

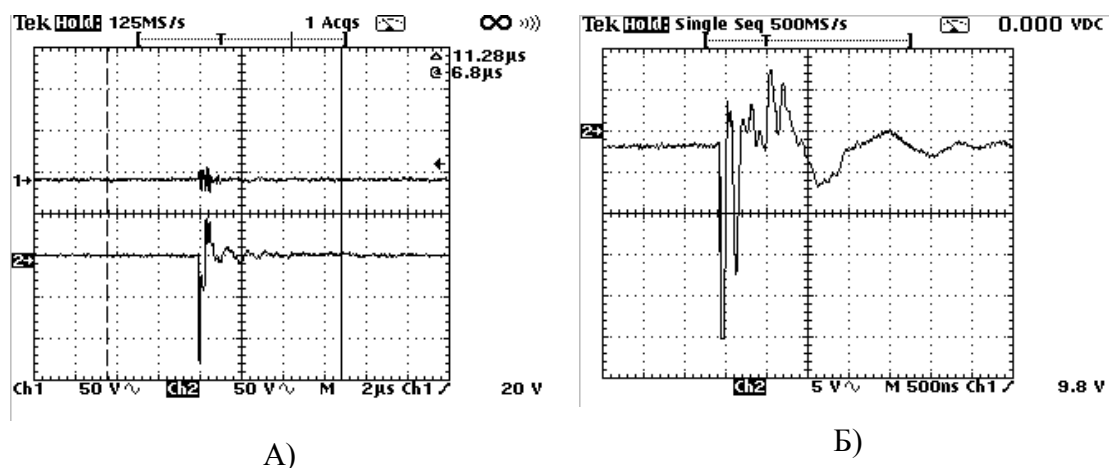
- Возможен вынос потенциала по цепям питания.

3. Помехи от низковольтного оборудования

3.1 Помехи при коммутации реле и работе щеточных двигателей

Механизм генерации: Коммутация реактивной нагрузки с малой емкостью и индуктивностью.

Примеры:



Импульсные помехи от внутренних источников: А) – работа реле при включении масляного выключателя на ПС «КС-220 кВ» Смоленскэнерго, Б) – работа реле охлаждения на ПС «Выборгская - 400 кВ».

Рисунок 6.

Амплитуда: обычно 100–200 В, но фиксируются величины до 1 кВ.

Длительность фронта: десятки нс

Действие на аппаратуру:

- Ложные срабатывания, сбои и «зависания» цифровой аппаратуры.
- Кратковременное ухудшение качества каналов связи.

Испытания аппаратуры: Устойчивость к наносекундным импульсным помехам – НИП, ГОСТ 29156 (ГОСТ Р 51317.4.4-99, МЭК 1000-4-4-95).

Диагностика: Измерение помех осциллографом с запоминанием в наносекундном диапазоне.

Методы борьбы: Установка полупроводниковых ограничителей на входах цепей; экранирование кабелей и аппаратуры.

3.2 Низкое качество и прерывания напряжения питания

Основные источники низкочастотных возмущений в цепях питания:

Резкие колебания нагрузки.

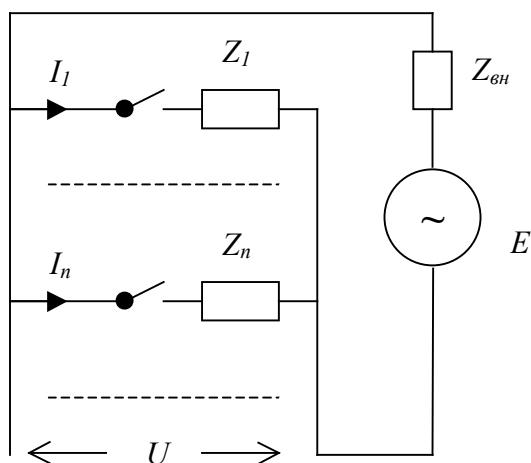


Рисунок 7. Влияние резкого изменения нагрузки на остальных потребителей.

Нештатные режимы работы энергосистем.

Вследствие тех или иных неполадок в работе энергосистемы параметры напряжения питания (действующее значение и частота) могут значительно отличаться от номинальных величин 220 В и 50 Гц. Короткие замыкания и другие аварии могут приводить к полному исчезновению напряжения питания длительностью от десятков миллисекунд до нескольких часов. В некоторых случаях могут возникать кратковременные перенапряжения, когда в течение нескольких периодов напряжение питания в 1,5 – 2 раза превышает номинальное.

Нелинейные элементы в сетях электропитания.

Наличие в сети питания нелинейных элементов способно значительно исказить формы кривых тока и напряжения. К таким элементам относятся сердечники трансформаторов, работающие в режиме, близком к насыщению, импульсные блоки питания аппаратуры, силовые полупроводниковые преобразователи и т.п. Нужно учитывать, что искажение формы кривой тока отражается на форме кривой напряжения за счет внутреннего сопротивления источника.

Воздействие указанных факторов на аппаратуру проявляется как воздействие низкочастотных кондуктивных помех по цепям питания.

Другие источники помех

4.1 Радиосредства

В зависимости от диапазона частот, электромагнитные поля принято делить на низкочастотные и радиочастотные. Граница между ними по-разному определяется различными стандартами, но обычно в качестве граничной рассматривается частота 150 кГц.

Рассмотрим влияние радиочастотного излучения функциональных источников. К таким источникам относятся, в первую очередь, радио- и телевизионные передатчики различного назначения и радары. Кроме того, к ним можно отнести микроволновые печи бытового и промышленного назначения, различные экспериментальные и испытательные установки и т.п. В некоторых случаях помехи, аналогичные помехам со стороны функциональных источников, могут создаваться и линиями проводной связи, работающими на высокой частоте.

Иногда существенный вклад в общий уровень помех в радиочастотном диапазоне вносят атмосферные и космические радишумы, шумы от короны, а также радиочастотные шумы, создаваемые при работе блоков питания аппаратуры.

Использование радиочастотного спектра зарегистрированными передатчиками становится все более интенсивным (радиовещание, морские и авиационные радиосредства, радары и мобильные передатчики). Частота используемых передатчиков меняется от 10 кГц в длинноволновом диапазоне до гигагерц у радаров, мобильных телефонов и т.п. Напряженность создаваемого электрического и магнитного полей зависит от мощности передатчика и расстояния до него. Так, слабый близкорасположенный источник (например, сотовый телефон) может создавать большее поле, чем удаленный мощный передатчик (например, аэродромный радар).

Воздействие радиочастотных помех в первую очередь представляет опасность для радиоаппаратуры (особенно высокочувствительных приемников). Однако, благодаря усилиям соответствующих международных и государственных органов, случаи совпадения рабочих частот у различных радиосредств сравнительно редки. Гораздо чаще приходится иметь дело с ситуациями, когда внешнее излучение имеет спектр частот, пересекающийся с одним из «окон уязвимости», например – промежуточной частотой аппаратуры. Такая ситуация часто имеет место, например, когда одна и та же антенная мачта используется различными радиопередающими устройствами.

Сбои цифровой аппаратуры под действием радиочастотных полей часто связаны с неудовлетворительными экранирующими свойствами ее корпуса или неправильной схемой заземления аппаратуры и экранов кабелей.

Испытания: согласно ГОСТ Р 50008 (ГОСТ Р 51317.4.3-99, МЭК 1000-4-3-95). Испытания начинаются с минимальной уставки амплитуды РЭМП (1 В/м). Затем амплитуда ступенчато повышается до требуемой (с шагом, определяемым стандартизованными степенями жесткости испытаний). При появлении признаков нарушения нормального функционирования аппаратуры подачу МИП следует немедленно прекратить.

4.2 Электростатический разряд

Электростатический разряд (ЭСР) – довольно распространенное явление, и большинство людей имеет представление о его разрушительном воздействии на полупроводниковые схемы. По сути, ЭСР – просто перераспределение заряда между телами, имеющими различный электростатический потенциал. Накопление заряда происходит при обычной электризации трением; конкретные величины зарядов зависят от размеров, формы и электрических свойств взаимодействующих тел. Условия окружающей среды (особенно влажность) также заметно влияют на величину и время рассеивания заряда.

Основным механизмом воздействия является протекание тока по металлическим частям аппаратуры. Поскольку спектр импульса содержит очень высокие частоты (длительность фронта – около 1 нс, следовательно, частоты – порядка гигагерц), влияние через паразитные связи на внутренние узлы аппаратуры очень велико.

Действие на аппаратуру:

- сбои в работе высокоскоростных цифровых узлов, а также цифровых интерфейсных элементов;
- при подаче на разъемы, клавиатуры, элементы индикации и т.п. возможно физическое повреждение интерфейсных элементов.

Опасность для персонала:

Особенно опасно воздействие ЭСР на незащищенные узлы аппаратуры. Поэтому при любых ремонтных и наладочных работах нужно соблюдать требования электростатической безопасности. При профессиональной сборке аппаратуры используют антистатические браслеты (обеспечивающие стекание заряда на землю), антистатические покрытия и т.п. В условиях эксплуатации эти требования удается выполнить не всегда. Однако минимальные меры предосторожности соблюдать все же стоит: например, перед прикосновением к узлам аппаратуры следует дотронуться до заземленных металлоконструкций, что позволит снять избыточный заряд.

Испытания: согласно ГОСТ 29191-91 (ГОСТ Р 51317.4.2-99, МЭК 1000-4-2-95). Контактные разряды подаются на доступные прикосновению точки корпуса аппаратуры. Воздушные разряды подаются на индикаторы и незакрытые разъемы

Для каждой точки испытания начинаются с минимальной уставки амплитуды ЭСР: 2 кВ - контактной, 4 кВ - воздушной. Затем амплитуда ступенчато повышается до требуемой (с шагом, определяемым стандартизованными степенями жесткости испытаний). При появлении признаков нарушения нормального функционирования аппаратуры подачу ЭСР следует немедленно прекратить.

Контроль и улучшение электромагнитной обстановки

1 Контроль ЭМО

В сложившейся ситуации представляется необходимым проводить контроль ЭМО на энергообъектах (а также промышленных предприятиях, узлах управления, связи и т.п.) перед размещением на них современной цифровой аппаратуры защиты, автоматики, АСУ, АСКУЭ и связи. Желательно также периодическое проведение контроля ЭМО с целью выявления неблагоприятных изменений в силу старения заземляющего устройства, реконструкций и т.п. Что касается технического содержания работ по оценке ЭМО, то они, (согласно сложившейся практике и мнению авторов) должны включать в себя следующие работы:

1. Оценка эксплуатационного состояния заземляющего устройства, включая заземление средств грозозащиты.

Помимо классической процедуры проверки сопротивления растеканию заземляющего устройства, имеется необходимость контроля качества электрических связей между элементами больших ЗУ. В проводимых работах авторами использовалась следующая методика: в пределах заземляющего контура объекта выбирается опорная точка. Связь остальных точек с опорной проверяется организацией токовой петли между заземлением проверяемого аппарата (конструкции) и опорной точкой. Измеряется потенциал проверяемой точки относительно удаленной земли (потенциального зонда). Частное от деления потенциала на ток прогрузки представляет собой сопротивление, которое может быть названо сопротивлением основания аппарата (конструкции) относительно опорной точки. Величина меньше 0,1 Ом свидетельствует о наличии хорошей связи с опорной точкой. Величины более 0,1 Ом объясняются дефектами ЗУ (малостью эффективного сечения заземлителей вследствие коррозии или конструктивных недоработок, недостаточным количеством или полным отсутствием металлосвязей). В этом случае должны проводиться мероприятия по улучшению состояния ЗУ. Для проведения подобных измерений сейчас используются специальные цифровые приборы, обеспечивающие высокую селективность измеряемых сигналов на фоне помех, что крайне важно для измерений на объектах со сложной ЭМО.

Трассировка коммуникаций ЗУ с помощью специальных трассоискателей может быть полезна на этапе проведения ремонтно-восстановительных работ. При этом надо учитывать, что такие приборы обычно дают лишь приближенное представление о геометрии металлосвязей в пределах ЗУ, не позволяя оценить их качество.

2. Определение трасс растекания токов при грозовом разряде и КЗ.

Опыт анализа причин повреждений аппаратуры, а также элементарный здравый смысл подсказывает, что сопротивление не является единственной характеристикой ЗУ. Растекание значительных токов по металлоконструкциям кабельных каналов, экранам кабелей, заземляющим шинам в помещениях с аппаратурой и корпусам оборудования само по себе представляет опасность. Действительно, создаваемые при этом поля и наводки могут приводить к сбоям и отказам аппаратуры даже при том, что все требования нормативных документов к сопротивлению оказываются выполненными. Поэтому часто возникает необходимость определения реальных трасс токов молнии или токов КЗ.

3. Долговременный мониторинг помех в информационных цепях и цепях питания.

Фиксируются постоянно присутствующие помехи в широком диапазоне частот. Кроме того, производится мониторинг нерегулярно появляющихся импульсных помех. Осцил-

логграф с присоединенным компьютером переводятся в режим «черного ящика», позволяющий без участия оператора обнаруживать помехи, фиксировать соответствующие осциллограммы и записывать их в память компьютера. Теоретически время проведения мониторинга не ограничено (реально, как правило, - несколько суток).

4. Измерение уровней помех в информационных цепях и цепях питания при коммутационных операциях

Осуществляется с помощью современных цифровых осциллографов (типичная частота дискретизации 1 ГГц на канал) с функцией запоминания импульсного сигнала. Выбор уставок триггера осуществляется в зависимости от вида операции и цепи, в которой производятся измерения. Осциллограммы в цифровом представлении передаются на компьютер, что позволяет в дальнейшем осуществлять их обработку с использованием математических пакетов.

5. Оценка качества напряжения питания от основных и резервных источников.

Осуществляется определение коэффициента гармонических искажений, при необходимости отслеживается изменение действующего значения в течение суток или более. Производится осциллографирование переключения на резервное питание, что позволяет определить длительность бестоковой паузы.

6. Оценка уровней электромагнитных полей. Для измерения полей используются специальные интегрированные приборы, антенны и т.п. В ряде случаев необходимо применение аналитических методов. Это касается, в частности, определение уровней магнитных полей в местах расположения аппаратуры при КЗ в высоковольтных сетях с заземленной нейтралью.

Проведение указанных работ требует известной квалификации персонала и использования относительно дорогостоящего оборудования. Поэтому представляется целесообразным проведение таких работ силами специализированных организаций или отделов в рамках комплекса проектно-изыскательских работ по реконструкции объекта. Работы должны производиться в тесном контакте с проектировщиками, ведущими общий проект реконструкции. Разумеется, это приводит к некоторому удорожанию проекта, что является, по сути, платой за безопасность и надежность предлагаемого решения.

Что же касается контроля ЭМО в течение срока функционирования объекта между реконструкциями, то здесь представляется целесообразным привлечение к выполнению этих задач эксплуатационного персонала. Несомненно, актуальным является массовый выпуск недорогих и максимально простых в использовании приборов. Основной задачей является выявление внезапно возникших или скрытых проблем. При необходимости, для их полной диагностики и решения может быть проведено полное обследование, аналогично тому, как это делается при реконструкции.

2 Улучшение ЭМО

Разумеется, оценка ЭМО не является самоцелью. По ее результатам разрабатываются и осуществляются защитные мероприятия. В зависимости от результатов обследования, они могут включать:

1. Оптимизацию заземляющего устройства, включая:

- восстановление поврежденных и прокладку недостающих заземляющих электродов,
- установку вертикальных заземлителей для устройств грозозащиты, разрядников и ОПН,

- приведение систем заземления и выравнивания потенциалов в зданиях и помещениях УС в соответствие с современными требованиями [8],
- обеспечение растекания тока молнии на безопасном расстоянии от цепей питания и связи, а также мест расположения аппаратуры,
- разделение заземляющих проводников для информационной техники и устройств, способных нести значительные помехи, например вводов кабелей с мачт радиосвязи,
- разрыв ненужных связей (например, между элементами грозозащиты и фильтрами присоединения ВЧ-связи, кабельными каналами и т.п.)

2. Обеспечение правильной прокладки вторичных цепей по условиям ЭМС:

- раздельная прокладка информационных и силовых цепей,
- организация экранирования (с двух- или односторонним заземлением экранов в зависимости от условий на объекте),
- применение информационных кабелей с высокой степенью симметрии («витая пара»),
- прокладка трасс кабелей в обход областей с высокими уровнями электромагнитных полей,
- применение барьерных заземлителей, шин выравнивания потенциала и т.п.,
- использование (там, где это оправдано) оптической развязки

3. Оптимизация систем питания:

- разделение цепей заземления и нуля (переход с системы TN-C на системы TN-S и TN-C-S),
- уменьшение токов утечки (позволяет снизить уровень магнитных полей и низкочастотных наводок на кабели связи),
- установка стабилизаторов, разделительных трансформаторов и устройств резервирования питания,
- использование вторичных источников (ИБП, выпрямителей) с высокой помехоустойчивостью,
- организация защищенной подсети для устройств связи, АСУ и т.п. (например, отдельная фаза через стабилизатор).

4. Установка устройств защиты от перенапряжений: В последнее время все интенсивнее стали применяться устройства подавления импульсных перенапряжений в цепях питания и обмена информацией. Такие устройства выполняются на базе силовых элементов с сильно нелинейной вольт-амперной характеристикой: разрядников, варисторов, стабилитронов и т.п. Нелинейность ВАХ позволяет организовать канализацию импульсных помех по схеме «провод-провод» или «провод-земля», не позволяя им достигнуть входов аппаратуры. Отметим, что эффективность использования таких устройств во многом определяется организацией системы заземления.

В настоящее время для максимально эффективного подавления помех в системе питания принято использовать принцип зонной защиты [9].

Он заключается в установке защитных устройств в несколько каскадов, каждый из которых рассеивает некоторую часть энергии импульса (рис. 6). В результате амплитуда помех снижается до уровней, безопасных для аппаратуры, даже не предназначавшейся специально для размещения на энергообъектах.

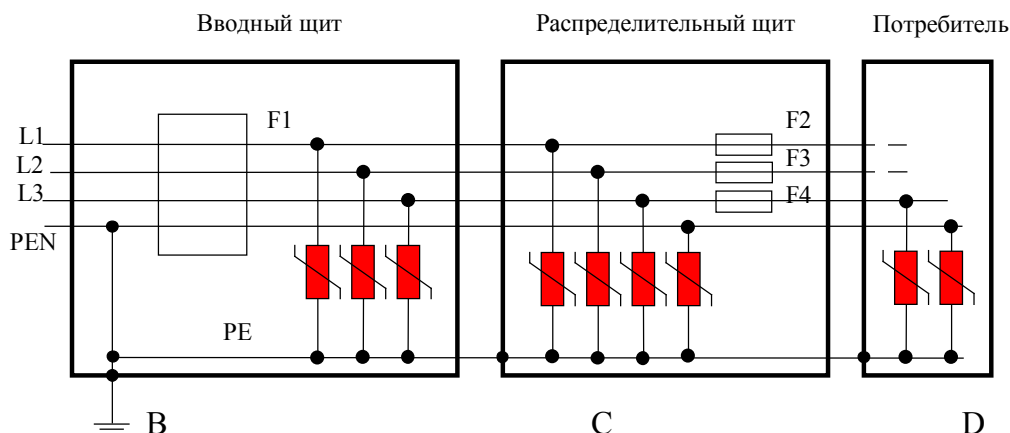


Рисунок 6. Установка защитных устройств классов В, С и D (по классификации МЭК) в сети TN-C-S 220/380 В

Что же касается устройств защиты линий связи и цифровых интерфейсов, то здесь многокаскадная структура часто реализуется в самом устройстве. Первый каскад производит отвод основной части энергии импульса. При этом высокочастотная составляющая, соответствующая обычно фронту импульса, проникает через первый каскад из-за ограниченного быстродействия последнего. Эта часть шунтируется быстродействующими стабилизаторами второго каскада (время срабатывания - порядка 1-10 нс для разных модификаций).

Результаты лабораторного тестирования показали высокую эффективность подобных устройств. Так, например, грозовой импульс амплитудой 4 кВ от стандартного испытательного генератора может быть погашен практически полностью (см. рис.7).

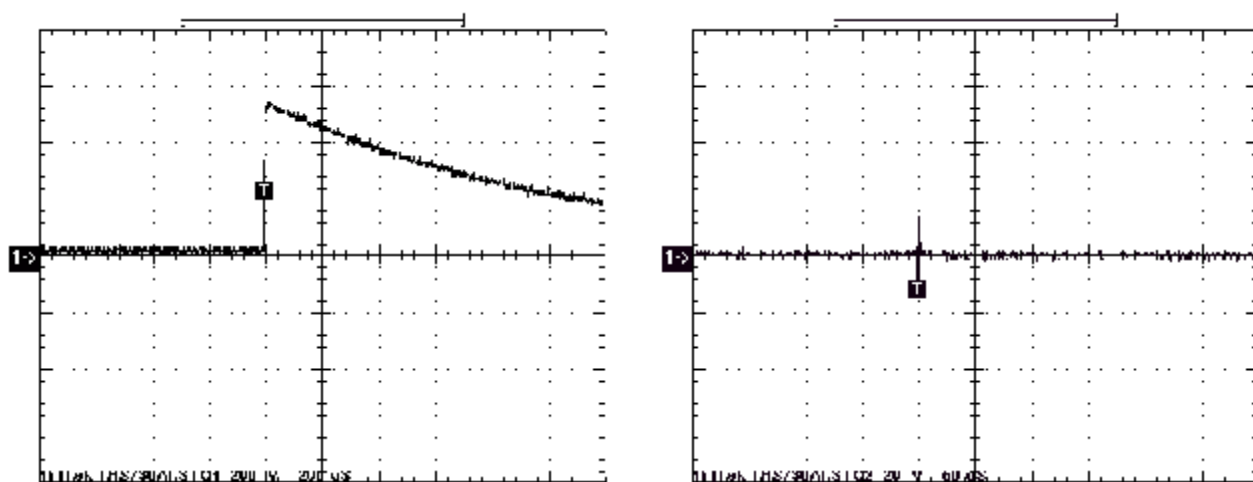


Рисунок 7. Подавление стандартного грозового импульса устройством защиты интерфейса RS485 (типа ТУЗ): слева – форма импульса (реальная амплитуда – 4 кВ, на входе осциллографа использовани делитель), справа – импульс на нагрузке, защищенной ТУЗ (амплитуда снижена до 15 В).

5. Экранирование чувствительной аппаратуры Иногда высокий уровень магнитных полей при КЗ в высоковольтной сети представляет непосредственную угрозу для аппаратуры. В этом случае обычно рассматриваются варианты размещения аппаратуры в специальных экранирующих шкафах.

Разумеется, приведенными методами не исчерпывается все разнообразие решений, направленных на снижение уровней помех, воздействующих на аппаратуру. Более того, специфика энергетических и промышленных объектов, как правило, такова, что уровень действующих на аппаратуру помех не может быть снижен до очень малых значений без больших капитальных затрат. Поэтому для всей микропроцессорной аппаратуры, влияющей на безопасность и надежность работы объекта, должен обеспечиваться высокий уровень собственной устойчивости к помехам. Это подразумевает проведение в рамках сертификации и (или) экспертной оценки испытаний на ЭМС, причем со степенями жесткости, отражающими специфические требования электроэнергетики.

Литература

- [1] Хабигер Э.: Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат, 1995.
- [2]. C. Wiggins, S. Nilsson: Comparison of interference from switching, lightning and fault events in high voltage substations CIGRE 1994 Session, paper 36-202
- [3] Guide on EMC in Power Plants and Substations. CIGRE Publ. 124, 1997
- [4] Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.2.542—96. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996
- [5] Костин М. К., Матвеев М. В.: Проблемы и методы контроля электромагнитной обстановки на энергообъектах. Сб. научных докладов IV Международного симпозиума по электромагнитной совместимости. С-Пб, 2001
- [6] Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех (РД 34.20.116-93) М.: РАО «ЕЭС России»
- [7] Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок (РД 153-34.0-20.525-00) М.: РАО «ЕЭС России»
- [8] ГОСТ Р 50571.18-2000, ГОСТ Р 50571.19-2000, ГОСТ Р 50571.20-2000, ГОСТ Р 50571.21-2000, ГОСТ Р 50571.22-2000
- [9] IEC 1024, 1312
- [10] Сборник ООО ЭЗОП. Матвеев М.В. Основные виды помех, опасных для электронной аппаратуры, и их характеристики. Контроль и улучшение электромагнитной обстановки
- [11] "Укрэнергосетьпроект". Разработка типовых мероприятий по электромагнитной совместимости аппаратуры. Харьков, 1994г.