

# Электромагнитная совместимость Введение

Лекция № 1

по курсу

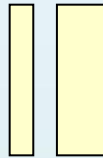
Электромагнитная совместимость

## Список рекомендуемой литературы по ЭМС

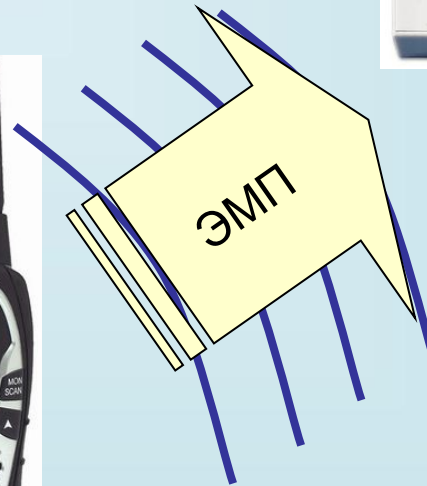
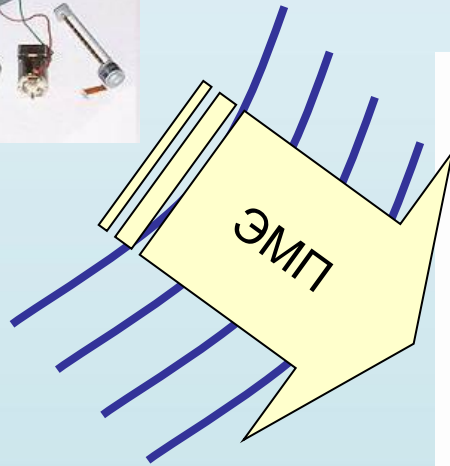
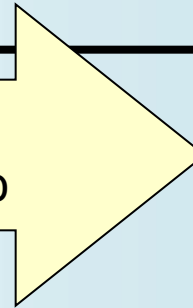
- Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. Под ред. Дьякова А. Ф. М.: Энергоатомиздат, 2003
- Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике/ А.Ф. Дьяков, И. П. Кужекин, Б.К. Максимов, А.Г. Темников; Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009 – 455 с.
- Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие/ Г.Я. Вагин, А. Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 224 с.
- Э. Хабигер. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат, 1995.
- А. Й. Шваб Электромагнитная совместимость. - Энергоатомиздат, М., 1995 г.
- **Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Электронный ресурс]:** Учеб. пособие для 4 курса фак. энергетики / А.Г. Овсянников; Новосиб. гос. техн. ун-т. Каф. техники и электрофизики высоких напряжений. – Электрон. дан. (9 файлов). - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – Загл. с экрана. – Имеется печ. аналог.

## Понятие электромагнитной совместимости

- Понятие **совместимости** предполагает наличие как минимум двух субъектов, один из которых воздействует на другой.
- **Воздействие** характеризуется действующим фактором, для которого должны быть определены:
  - значение величины действующего фактора для одного субъекта,
  - значение величины, характеризующей устойчивость к действующему фактору другого субъекта.
- Понятие электромагнитной **совместимости** появилось из проблемы **несовместимости** радиотехнических устройств

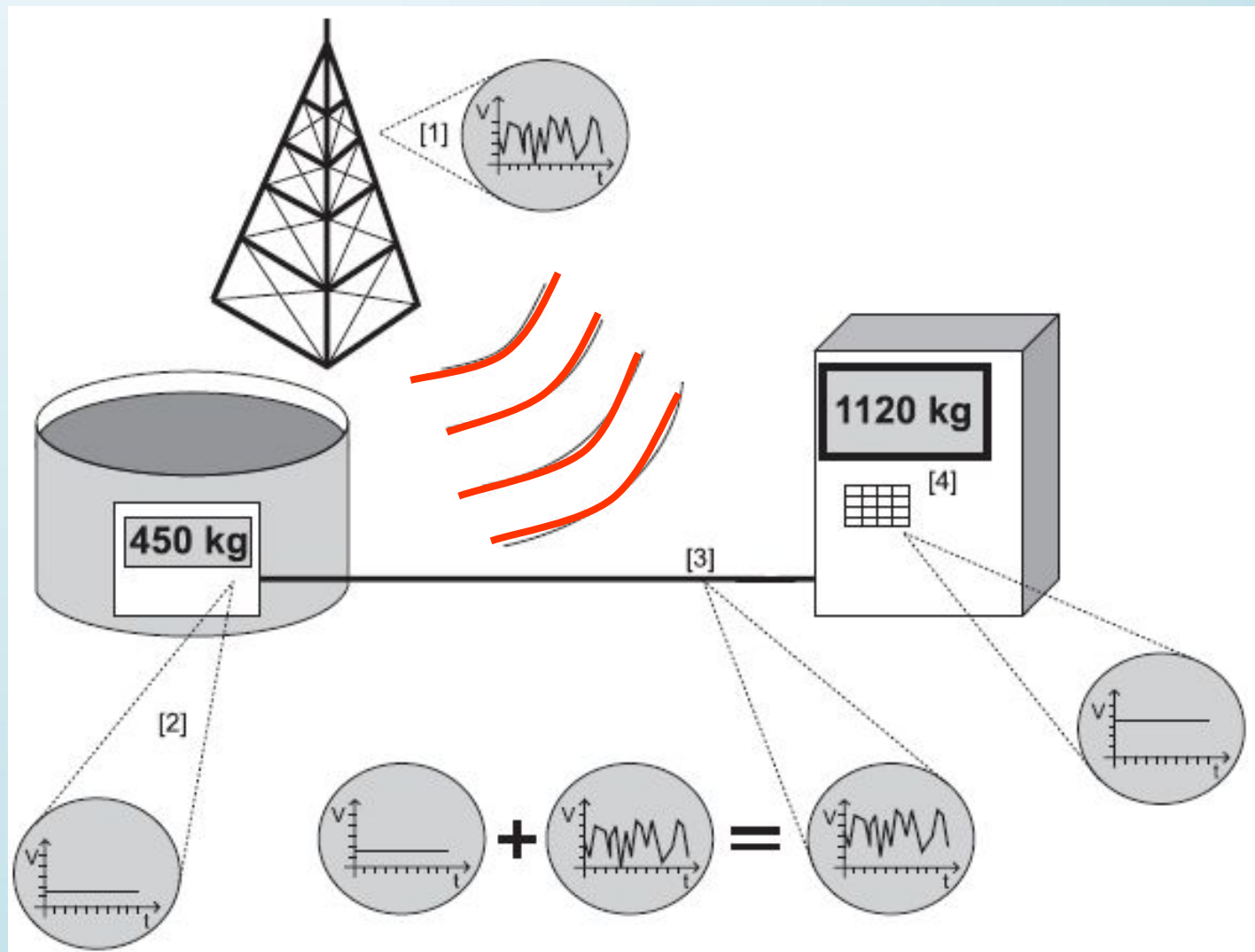


Помехи по  
электропитанию



Взаимодействие технических средств

# Пример воздействия на измерительную линию



*Помеха из-за излучения [1] на указателе уровня [2],  
линии [3], контрольном блоке [4]*

Любые электрические и электронные изделия, включая аппараты, системы и стационарные и подвижные установки, способные создавать электромагнитные помехи и (или) восприимчивые к их воздействию, должны быть изготовлены таким образом, чтобы:

- **создаваемые ими электромагнитные помехи не превышали уровня,** обеспечивающего функционирование радио- и телекоммуникационного оборудования и других изделий в соответствии с их назначением;
- **изделия имели достаточный уровень собственной устойчивости к** электромагнитным помехам, обеспечивающий их функционирование в соответствии с назначением.

**ГОСТ 30372-95 (ГОСТ Р 50397-92)**  
**Межгосударственный стандарт**  
**СОВМЕСТИМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ**  
**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**Определение:**

**Электромагнитная совместимость технических средств:** способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

# ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН

О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств

- **Электромагнитная совместимость технических средств** – способность технических средств функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты.



- **электромагнитная помеха** – электромагнитное явление или процесс естественного или искусственного происхождения, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства. Электромагнитная помеха может излучаться в пространство или распространяться в проводящей среде;
- **электромагнитное воздействие** – электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на биологические объекты. К электромагнитным воздействиям относятся создаваемые техническими средствами в окружающем пространстве электромагнитные, электрические и магнитные поля;
- **биологические объекты** – люди (персонал, обслуживающий технические средства, и население), животные и растения;

# Принят Государственной Думой 1 декабря 1999 года

Настоящий Федеральный закон направлен на создание условий для обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в целях предотвращения причинения вреда личности или имуществу физических лиц, предотвращения причинения вреда имуществу юридических лиц, окружающей природной среде в результате нарушения функционирования технических средств при воздействии электромагнитных помех, обеспечения безопасности жизни и здоровья населения в условиях электромагнитных воздействий, повышения конкурентоспособности отечественной продукции, а также укрепления национальной безопасности государства

**Техническое средство:** изделие, оборудование, аппаратура или их составные части, функционирование которых основано на законах электротехники, радиотехники и (или) электроники, содержащие электронные компоненты и (или) схемы, которые выполняют одну или несколько следующих функций: усиление, генерирование, преобразование, переключение и запоминание.

Примечание. Техническое средство может быть радиоэлектронным средством (РЭС), средством вычислительной техники (СВТ), средством электронной автоматики (СЭА), электротехническим средством, а также изделием промышленного, научного и медицинского назначения (ПНМ-установки)

## Критерии качества функционирования технических средств при воздействии помех

- Критерий А – воздействие ЭМП никак не отражается на функциональных характеристиках аппаратуры, работа которой до, во время и после воздействия помехи происходит в полном соответствии с техническими условиями или стандартами.
- Критерий В – допускается временное ухудшение функциональных характеристик аппаратуры в момент воздействия помехи. После прекращения воздействия ЭМП функционирование полностью восстанавливается *без вмешательства обслуживающего персонала*.

- Критерий С – аналогичен В, но, в отличие от него, допускает вмешательство персонала для восстановления работоспособности аппаратуры (например, перезагрузки «зависшей» цифровой системы, повторного набора номера и т.п.).
- Критерий D – физическое повреждение аппаратуры под действием помехи. Восстановление работоспособности возможно только путем ремонта.

## **Определение:**

(ГОСТ Р 50397-92)

### **Электромагнитная обстановка:**

совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах.

# Проблема ЭМС на электрических станциях и подстанциях

# Надежность ТС

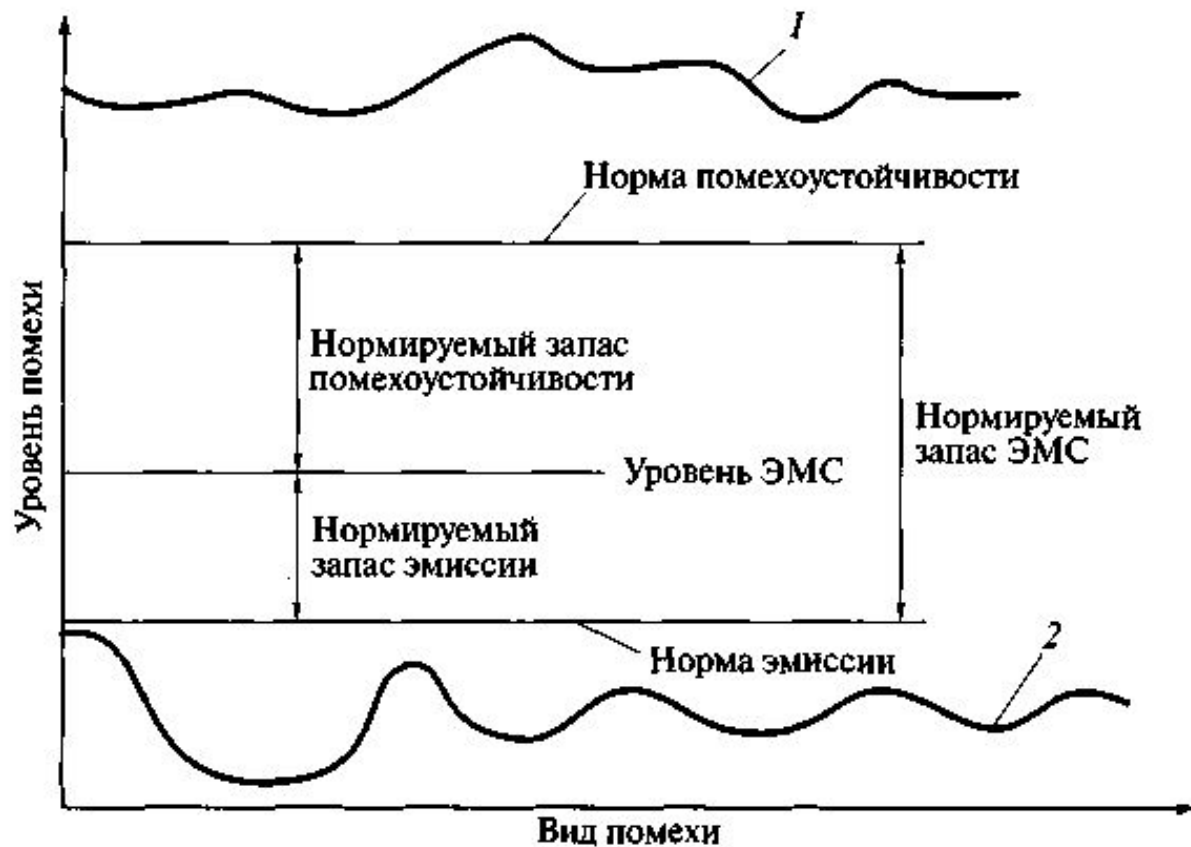


Рис. 1.1. Пояснение ЭМС технических средств:

1 — уровень помехоустойчивости ТС; 2 — уровень эмиссии помехи



## Основные определения

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – это способность аппаратуры нормально функционировать в определенной электромагнитной обстановке (ЭМО), не создавая при этом электромагнитных помех, опасных для других технических средств

Совокупность количественных характеристик основных электромагнитных помех для конкретного объекта называется электромагнитной обстановкой (ЭМО), в которой аппаратура будет работать

Наиболее актуальная проблема ЭМС на энергообъектах – влияние сравнительно мощных электромагнитных помех на чувствительную электронную (в основном, микропроцессорную (МП)) аппаратуру.

## Основные определения

Электромагнитная помеха – любое электромагнитное явление естественного или искусственного происхождения, которое может ухудшить качество функционирования технического средства.

Максимальную амплитуду ЭМП, при которой еще не возникает недопустимого ухудшения функциональных свойств аппаратуры, будем называть уровнем устойчивости этой аппаратуры к действию данной помехи.

## Актуальность проблемы

Статистика по различным отраслям (собранная, преимущественно, страховыми компаниями), подтверждает актуальность проблем ЭМС и защиты от перенапряжений.

### *США:*

За период с 1990 по 2000 года было зафиксировано 346 инцидентов на атомных объектах, вызванных молнией – *DOE Occurrence Reporting and Processing System Database*

Ежегодный прямой ущерб вследствие повреждения аппаратуры импульсными перенапряжениями составляет \$1,8 млрд. (ERICO corp.)

Ежегодный убыток от провалов напряжения и возмущений составляет \$6 млрд. - *CEIDS Value assessment, 10 July 2001*

## Актуальность проблемы

### *Россия и СНГ:*

- Подстанция 500 кВ в центре России – повреждение аппаратуры связи при молниевом разряде.
- ПС на юге России - ложная работа защит по стороне 330 кВ при внешнем КЗ по стороне 110 кВ (!)
- Одна из АЭС – сбои в работе системы регулирования выходной мощности генератора под действием коммутационных помех, повреждение вторичных цепей перенапряжениями.
- Крупная ГРЭС в центре России – повреждение воздухопроводов и оболочек кабелей при протекании токов однофазных КЗ.
- ГЭС (Казахстан) – нарушение работы электронного оборудования в помещениях ГЭС под действием магнитного поля от силовых цепей и цепей возбуждения.
- ДП ряда энергосистем – повреждение электронной аппаратуры при молниевом разряде.

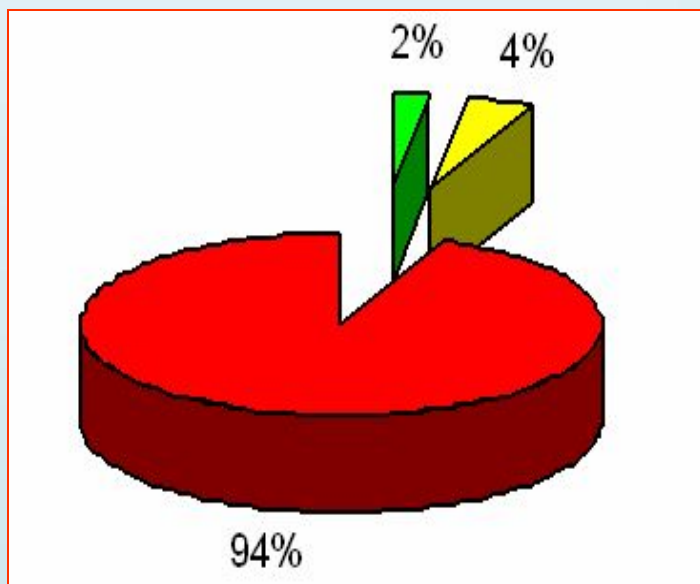
# Актуальность проблемы

- КТП крупного металлургического комбината – ложная работа МП защит под действием помех при коммутациях элегазового оборудования.
- Крупная ТЭЦ в Европейской части России – нарушение нормальной работы аппаратуры АСКУЭ при переключениях в сети СН.
- Современная ТЭЦ с новыми агрегатами– ложная работа защиты при коммутации разъединителя 330 кВ

Подробные статистические данные по отечественной электроэнергетике, к сожалению, отсутствуют. Однако в процессе выполнения работ по обеспечению ЭМС неоднократно приходилось сталкиваться со случаями сбоев и отказов МП аппаратуры под действием электромагнитных помех.

# Статистика состояния энергообъектов по условиям ЭМС

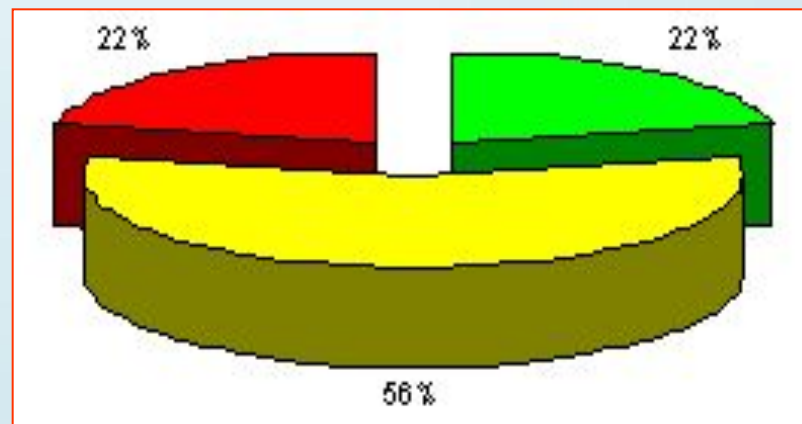
## Оценка системы молниезащиты



- - опасности для МП аппаратуры со стороны молниевых разрядов не выявлено;
- - нет явных нарушений НТД, но остается угроза повреждения МП аппаратуры;
- - выявлены факты серьезного нарушения НТД в организации системы молниезащиты.

Статистика основана на данных, собранных «ЭЗОП» в результате обследования 45 энергообъектов в период с 2002 по 2005 год.

## Эксплуатационное состояние ЗУ объектов по условиям ЭМС



Доля аппаратов и конструкций, при КЗ на которые возможно повреждение МП аппаратуры и вторичных кабелей:

- -- менее 10% от общего количества
- -- от 10 до 50% от общего количества
- -- более 50% от общего количества

## Серьезные нарушения электрической целостности заземляющего устройства

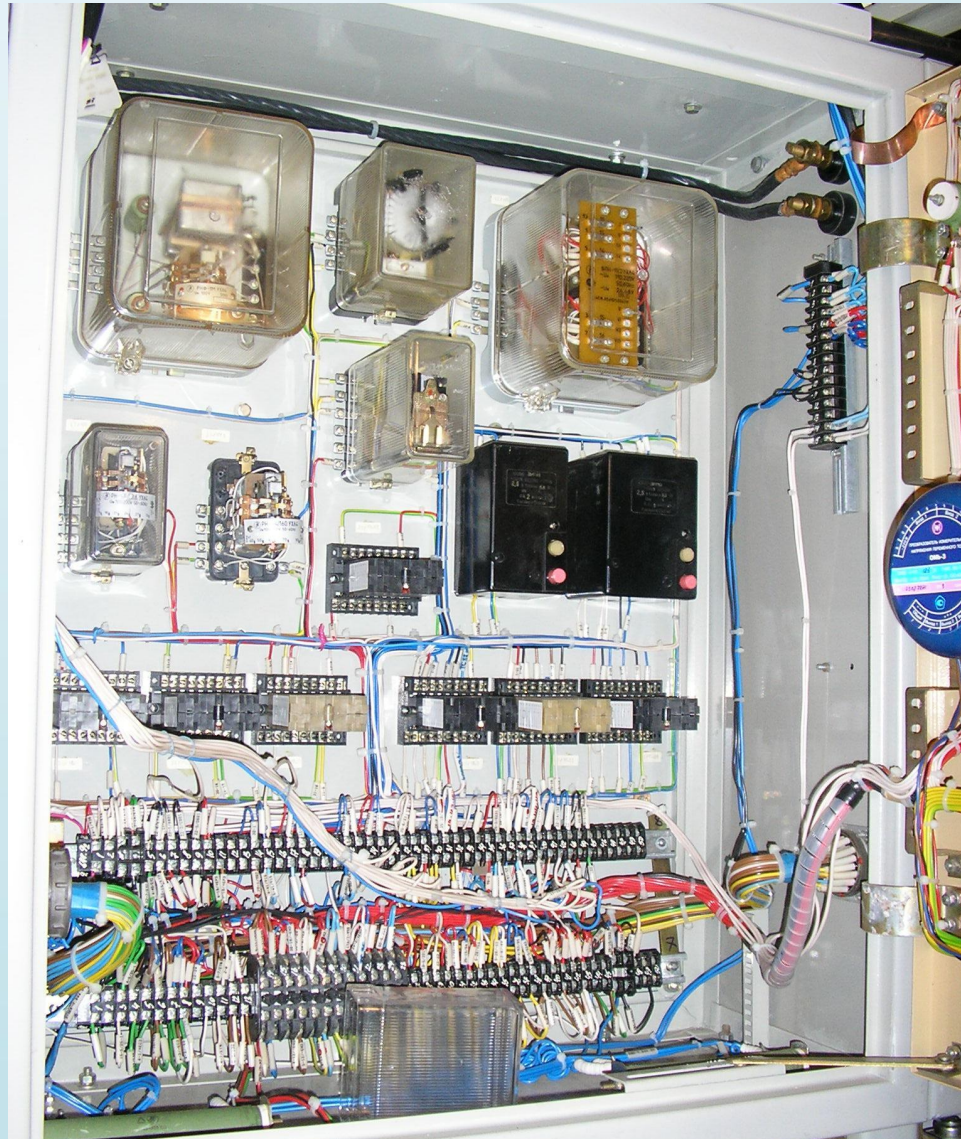


- -- доля объектов, на которых количество аппаратов, фактически утративших электрическую связь с общим ЗУ не превышает 5% от общего количества,
- -- доля объектов, на которых количество аппаратов, фактически утративших электрическую связь с общим ЗУ составляет 5-10% от общего количества,
- -- доля объектов, на которых количество аппаратов, фактически утративших электрическую связь с общим ЗУ превышает 10% общего количества



**Развитие микроэлектроники и  
микропроцессорной техники  
привело к снижению уровней  
полезных сигналов**

# Шкаф управления (фидер 10 кВ) на электромагнитных реле





## Электромагнитное реле (реле промежуточное РП-250)

Номинальное напряжение:  
24, 48, 110, 220 В

Напряжение срабатывания:  
70% от  $U_{ном}$

154В при  $U_{ном} = 220 В$

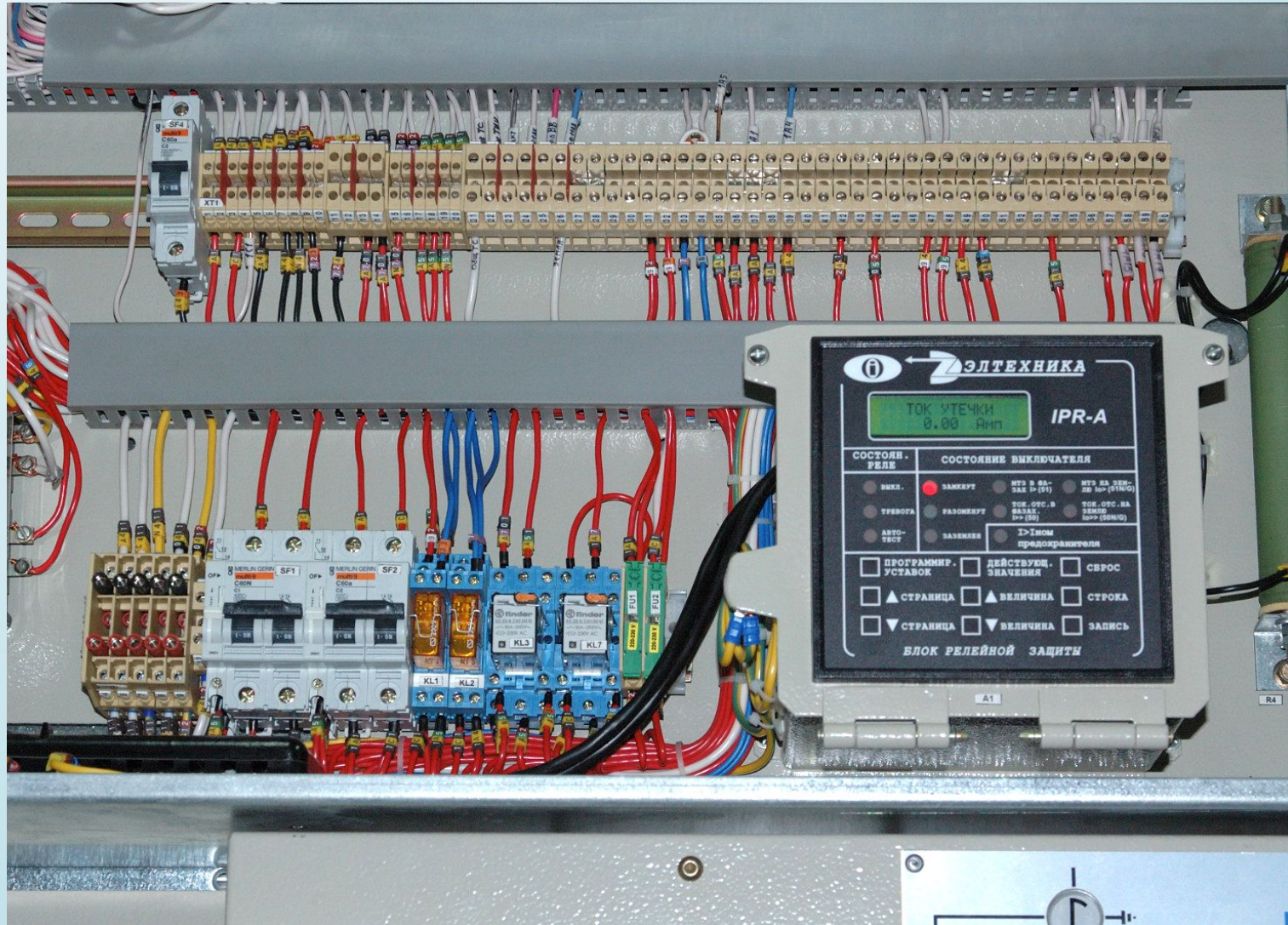
Напряжение возврата:  
5% от  $U_{ном}$

11В при  $U_{ном} = 220 В$

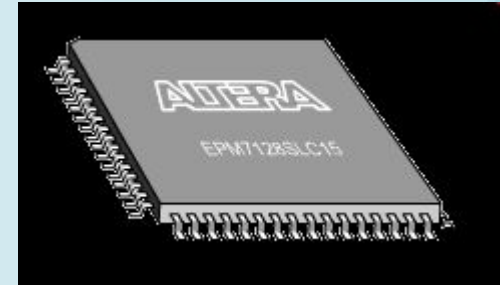
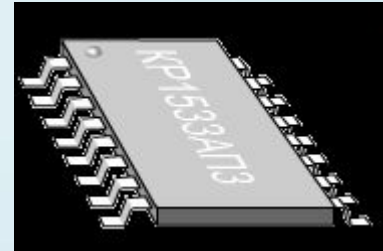
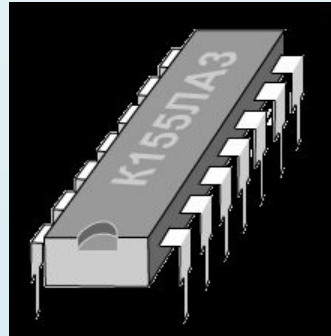




# Шкаф управления (фидер 10 кВ) на основе микропроцессорного блока релейной защиты



## Уровни срабатывания логических микросхем

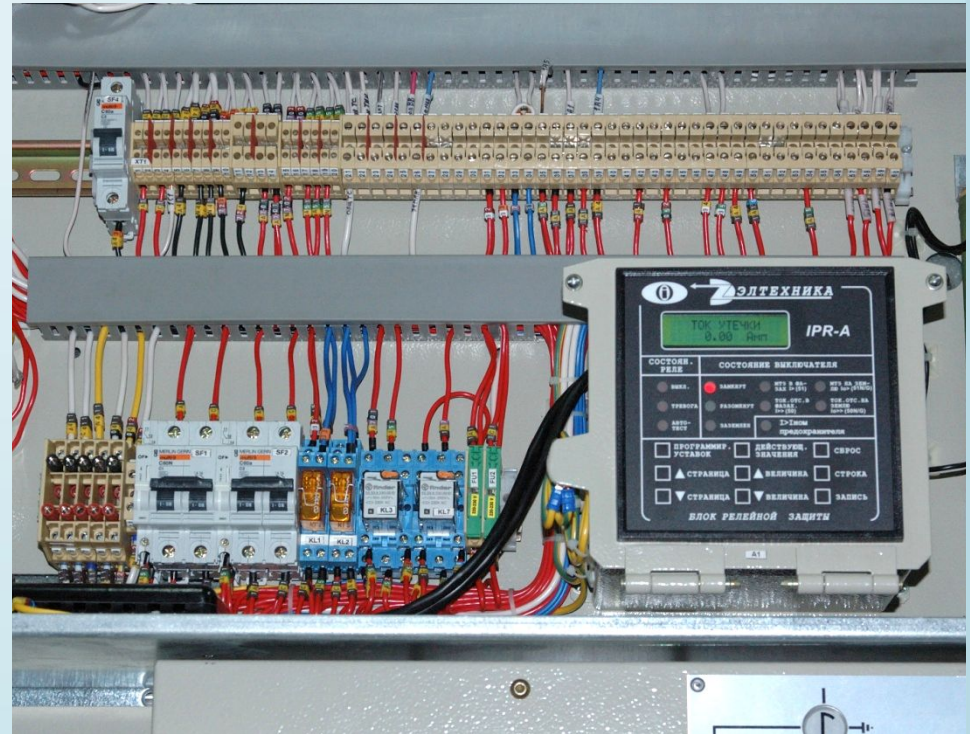
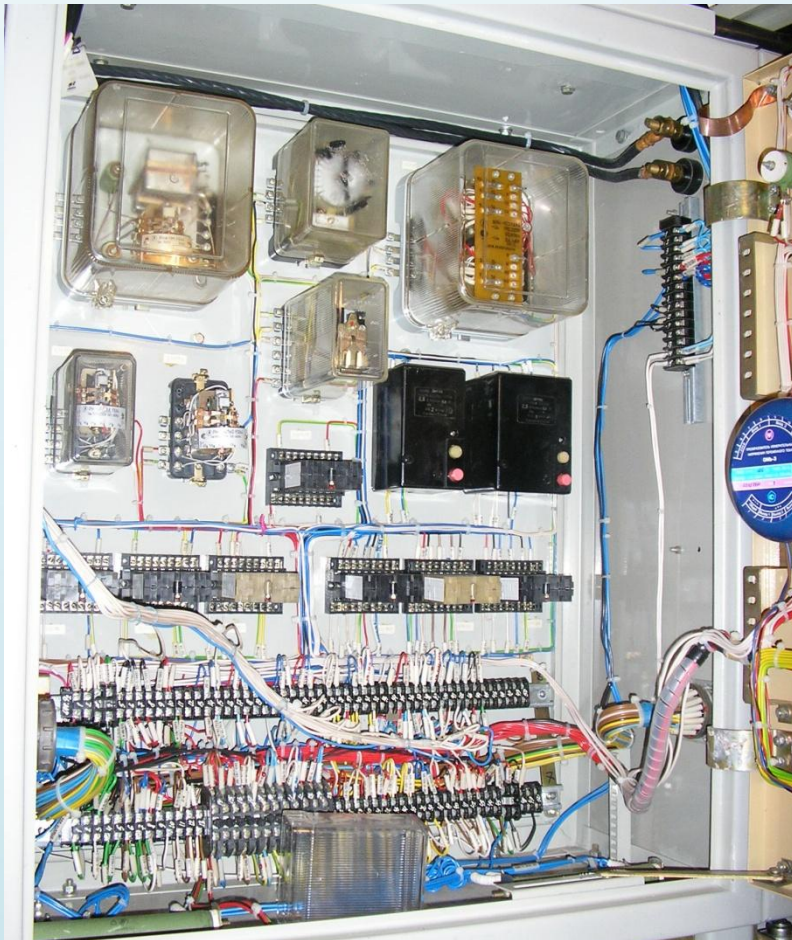


Серия	КМОП 9 В	ТТЛ 5 В	КМОП 3,3 В	МК КМОП 1,8 В
Уровень логического «0»	0,3	0,4	0,7	0,5
Уровень логической «1»	8,2	2,4	1,6	1,3

# Чувствительность технических устройств к электромагнитным помехам

Устройства	Степень повреждения при энергии, $lg W$ [Дж]														
	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Генераторы, электродвигатели, силовые трансформаторы															
Измерительные приборы, реле															
Мощные проволочные резисторы								сбои					разрушение		
Плёночные резисторы															
Светодиоды и переключающие диоды															
Транзисторы малой мощности															
Интегральные микросхемы и чувствительные элементы ЭВМ															





Снижение логических уровней срабатывания устройств автоматически приводит к потенциальному снижению их помехозащищенности

**Электромагнитная помеха:** электромагнитное явление, процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства.

Электромагнитная помеха может излучаться в пространство или распространяться в проводящей среде

**Рецептор:** техническое средство, реагирующее на электромагнитный сигнал и (или) электромагнитную помеху.

**Характеристика ЭМС:** характеристика технического средства, отражающая возможность его функционирования в заданной ЭМО и (или) степень его воздействия на другие технические средства

Примечание. Характеристика ЭМС может отражать свойства технического средства как источника помех, как рецептора и (или) свойства окружающей среды, влияющие на ЭМС технического средства

## Выдержка из инструкции по эксплуатации микропроцессорного блока релейной защиты

1.3.2.11 Электрическая изоляция между входными и выходными цепями, электрически не связанными между собой, и между этими цепями и корпусом блока, в холодном состоянии при нормальных климатических условиях выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия в течение 1 минуты испытательное напряжение 2000 В (действующее значение) переменного тока частотой 50 Гц.

1.3.2.12 Электрическая изоляция между цепями, электрически не связанными между собой, и между этими цепями и корпусом блока выдерживает импульсное напряжение с параметрами:

- амплитуда от 4,5 до 5 кВ;
- крутизна фронта волны 1,2 мкс;
- время спада волны 50 мкс;
- длительность интервала между импульсами не менее 5 с.

1.3.2.13 Блок выполняет свои функции при воздействии высокочастотных помех с параметрами, указанными в таблице 2

## Продолжение

Таблица 2

Вид помехи	Параметры помехи	Значение параметра
1. Высокочастотная помеха	Форма волны	Затухающие колебания высокой частоты, модуль огибающей которых уменьшается на 50% относительно максимального значения после 3-6 периодов
	Частота	$(1 \pm 0,1)$ МГц
2. Пачки импульсов	Амплитуда первого импульса	2,5 кВ
	Амплитуда импульсов	2,0 кВ
	Длительность импульса в пачке	$(50 \pm 15)$ нс.
	Длительность пачки	$(15 \pm 3)$ мс
	Период следования пачек	$(300 \pm 60)$ мс
3. Электростатический разряд	Напряжение разряда	8 кВ

## Обеспечение электромагнитной совместимости

- 1. Организационное обеспечение ЭМС:** организационные решения, постановления, нормативно-технические документы, направленные на исключение или снижение до приемлемого уровня электромагнитных помех между техническими средствами
- 2. Экспертиза ЭМС:** экспериментальное и (или) теоретическое исследование состояния обеспечения ЭМС технического средства в заданной электромагнитной обстановке
- 3. Сертификация ТС на соответствие требованиям ЭМС:** мероприятия, в результате которых удостоверяется соответствие определенного типа технического средства требованиям государственных, международных или иных нормативно-технических документов, регламентирующих характеристики ЭМС, посредством выдачи предприятию изготовителю сертификата

#### 4. Техническое обеспечение ЭМС: Технические решения, направленные на улучшение характеристик их ЭМС

В частности:

- **Подавление помех:** мероприятия, имеющие целью ослабление или устранение влияния помех
- **Экранирование** (электромагнитное): способ ослабления электромагнитной помехи с помощью экрана с высокой электрической и (или) магнитной проводимостями
- **Биологическая защита (от электромагнитного излучения):** обеспечение регламентированных уровней электромагнитных излучений, соответствующих установленным санитарными нормами
- ...

## Электромагнитная совместимость

Электромагнитное  
излучение

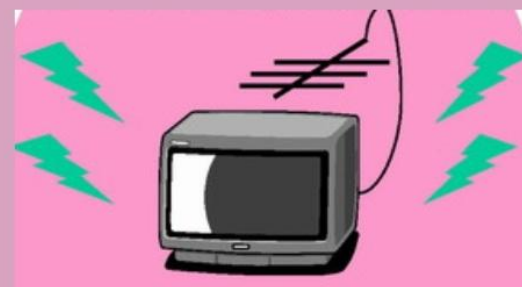


Экранирование



Ограничение излучения

Электромагнитная  
восприимчивость



Помехоподавление,  
селективность



Улучшение помехоустойчивости



# Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики

## Электромагнитные поля:

- Электрическое поле промышленной частоты, создаваемое высоковольтным оборудованием (шины высокого напряжения)
- Магнитное поле промышленной частоты, создаваемое силовым оборудованием (токопроводы, реакторы, трансформаторы и т.п.)
- Высокочастотное поле, создаваемое коронирующими шинами, устройствами связи, тиристорными преобразователями и т.п.
- Высокочастотное импульсное поле, возникающее при коммутациях силового оборудования и коротких замыканиях
- Импульсное магнитное поле, создаваемые ударами молнии

# Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики

## Потенциалы и напряжения:

- Разности потенциалов возникающие на территории электроустановки при:
  - нормальном режиме
  - коротких замыканиях
  - ударах молнии
- Высокочастотные импульсы (помехи), наводимые в кабелях вторичных цепей при коммутациях оборудования, КЗ, ударах молнии
- Разряды статического электричества

# Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики

## Токи (высокочастотные и промышленной частоты):

- Протекающие по заземленным экранам, нулевым жилам кабелей, металлоконструкциям, элементам заземляющего устройства при:
  - коротких замыканиях на территории электроустановки и в сети
  - ударах молнии

# Проблема ЭМС в электроэнергетике

## Факты:

- Из-за ложного срабатывания микропроцессорных устройств на одной из ТЭЦ Мосэнерго более двух лет не применялись защиты фирмы «Сименс».
- На подстанции при ударе молнии произошло повреждение устройств РЗА.
- На Костромской ГРЭС сбои в работе микропроцессорных устройств вызвало ... синтетическое ковровое покрытие.

**Причина:** Проектирование, монтаж и эксплуатация оборудования производились без учета требований ЭМС.

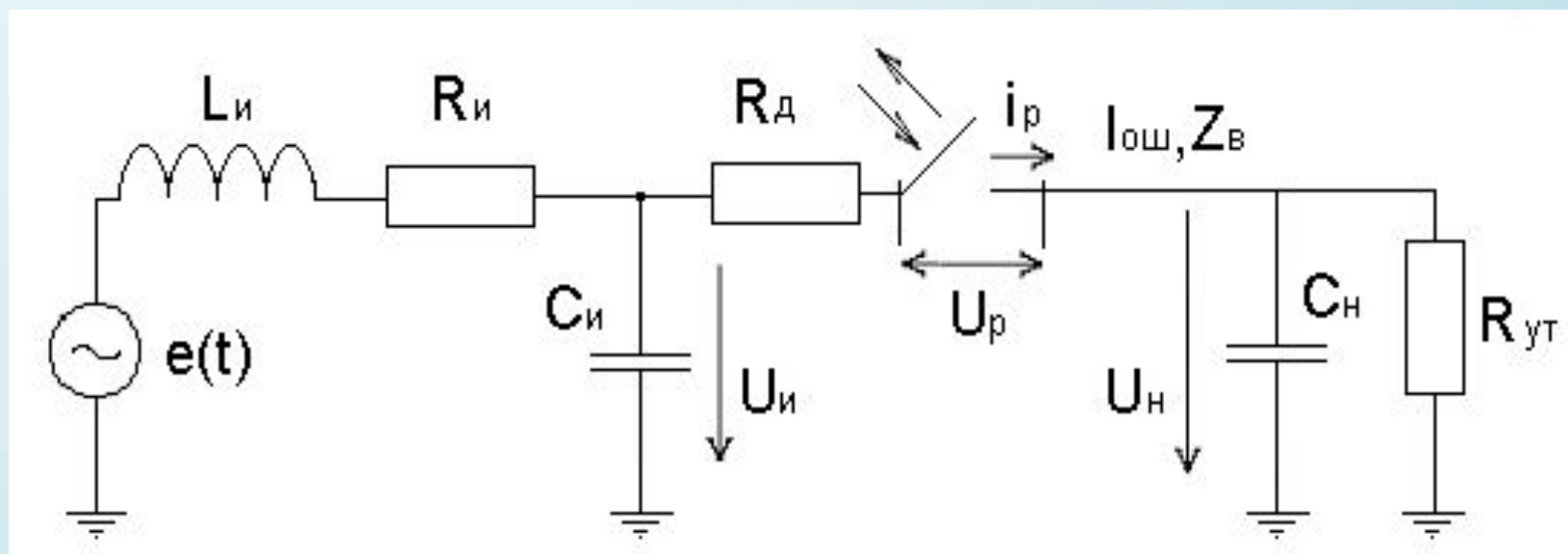


## Коммутация разъединителя 500 кВ



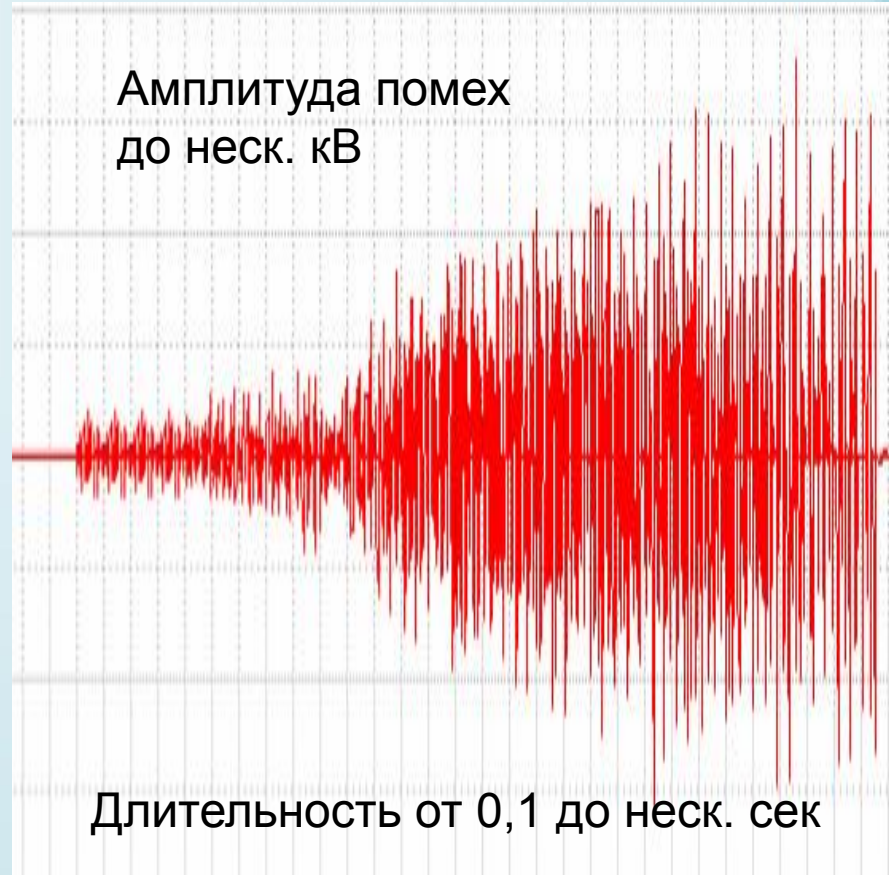


# Схема для анализа процесса коммутации



$L_{и}, R_{и}, C_{и}$  — параметры источника напряжения;  
 $C_{н}$  — ёмкость нагрузки;  
 $l_{ош}, Z_{в}$  — длина и волновое сопротивление ошиновки;  
 $R_{д}$  — активное сопротивление дуги;  
 $R_{ут}$  — сопротивление утечки по изоляции;  
 $i_p, U_p$  — ток и напряжение на разъединителе





Амплитуда помех  
до неск. кВ

Длительность от 0,1 до неск. сек

Коммутация разъединителем 500 кВ  
И ВЧ-помехи в кабелях вторичных  
цепей

## Классификация ЭМО объекта по критериям МЭК 61000-2-5-2002

**Класс 1.** Легкая электромагнитная обстановка, при которой

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства резервировано, силовые и контрольные кабели проложены отдельно;
- выполнение заземляющего устройства, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

## **Класс 2.** Электромагнитная обстановка средней тяжести, при которой

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащитными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивностей;
- электропитание устройств АСТУ осуществляется от сетевых стабилизаторов напряжения;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха, материалы, способные электризоваться трением, отсутствуют;
- применение радиопереговорных устройств, передатчиков, запрещено.

### **Класс 3.** Жесткая обстановка, при которой

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- силовые, контрольные и коммутационных цепей кабели разделены;
- контрольные кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;
- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах, нет материалов, электризуемых трением;
- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлены ограничения приближения к приборам на определенное расстояние).

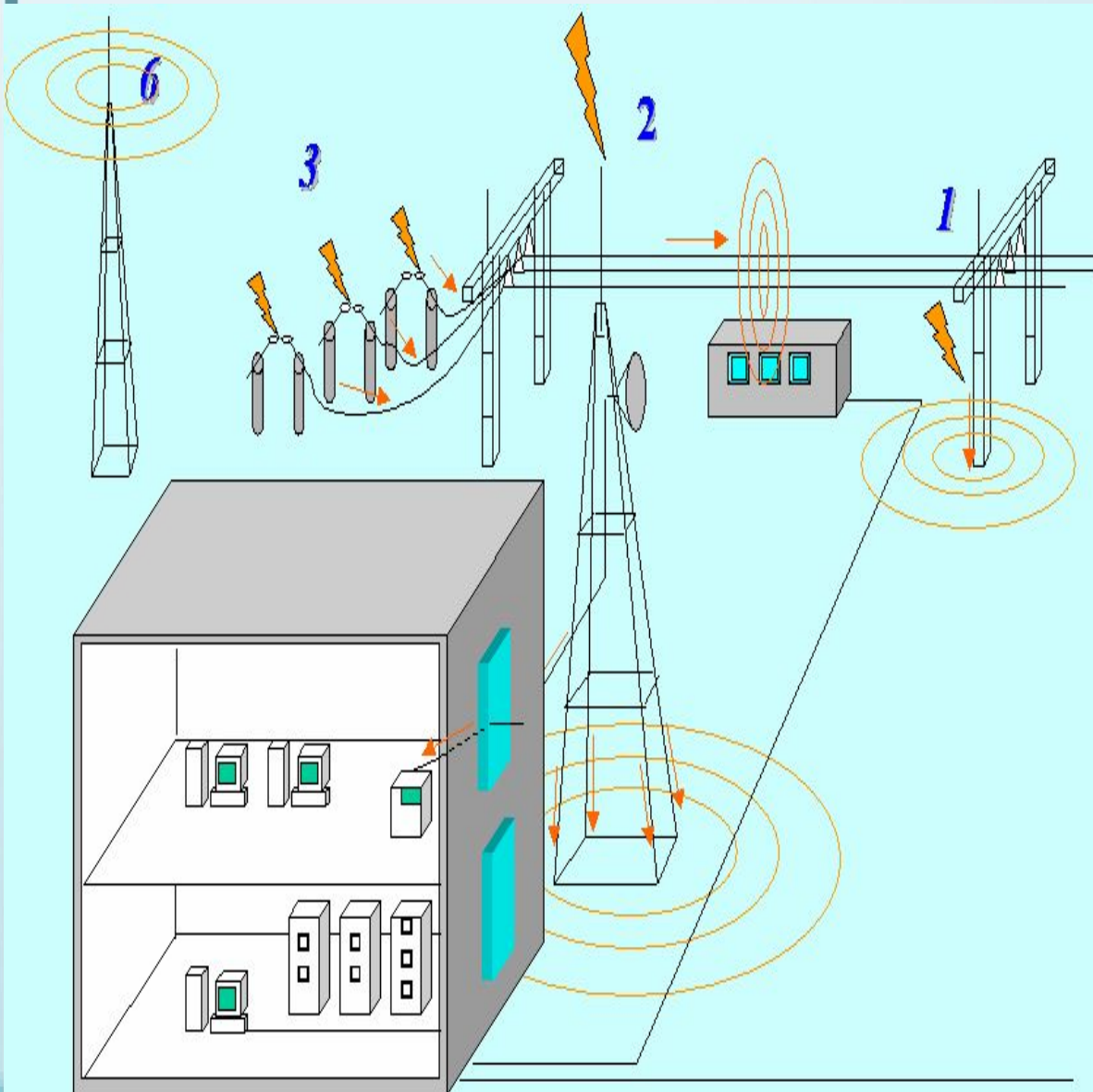
## **Класс 4.** Крайне жесткая обстановка, при которой

- защита в цепях управления и силовых контурах от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;
- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;
- нет пространственного разделения силовых, контрольных кабелей и коммутационных цепей;
- допустимы любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;
- вблизи могут находиться дуговые технологические устройства (электропечи, сварочные машины и т.п.).

## Характерные источники помех

- Импульсные помехи от удара молнии
- Плановые коммутации
- Аварийные коммутации
- Короткие замыкания
- Высокочастотные поля от радиопередающих устройств
- Низкочастотные поля от силовых установок
- сварочные аппараты, бытовые электроприборы
- синтетические ковровые покрытия

# Основные виды помех действующих на электронную аппаратуру



1 – короткие замыкания (КЗ)  
2 – грозовые разряды  
3 – переходные режимы работы высоковольтного оборудования (в том числе, вызванные коммутациями)  
4,5,7 – внутренние источники помех в помещениях здания с аппаратурой (рассматриваются на следующих слайдах)  
6 - радиосредства

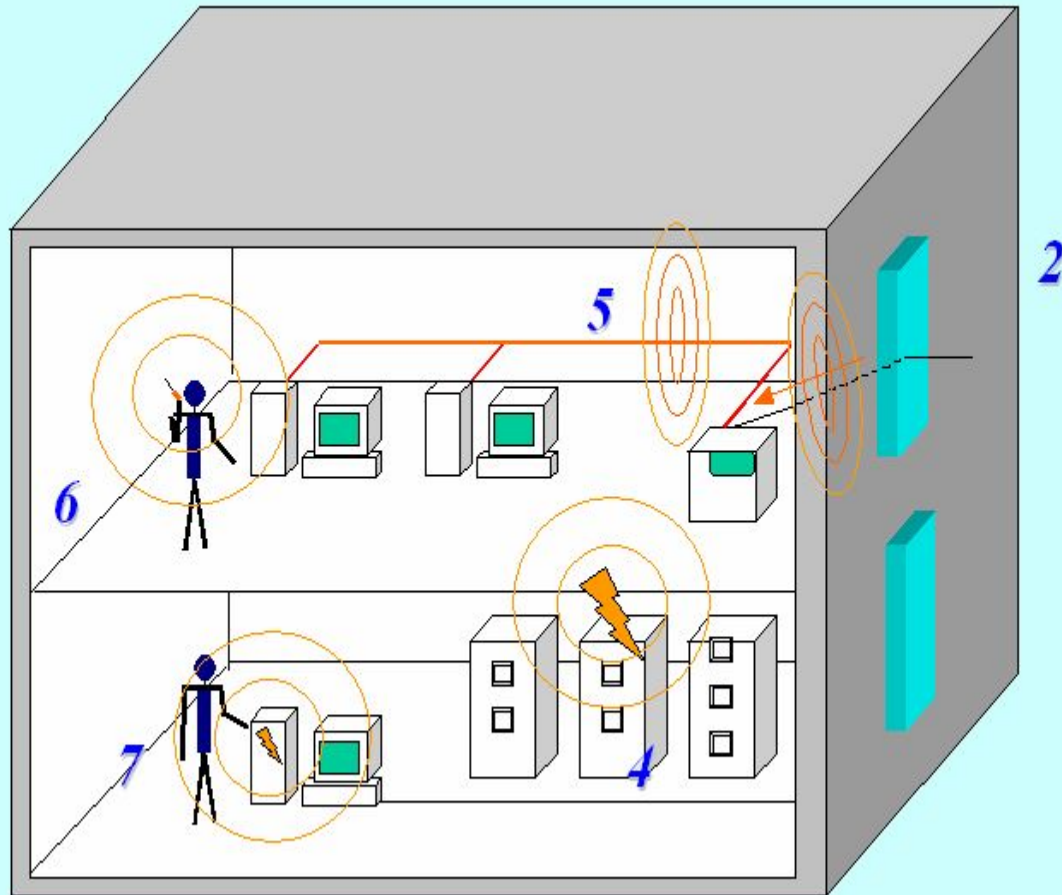
# Пример



Порталы с молниеприемниками и высоковольтные ОПН расположены рядом со зданием ОПУ, где размещается аппаратура РЗА и связи. Прямо над зданием проходит шинопровод 110 кВ. В случае протекания по-  
му тока КЗ, аппаратура окажется в зоне опасного магнитного поля.

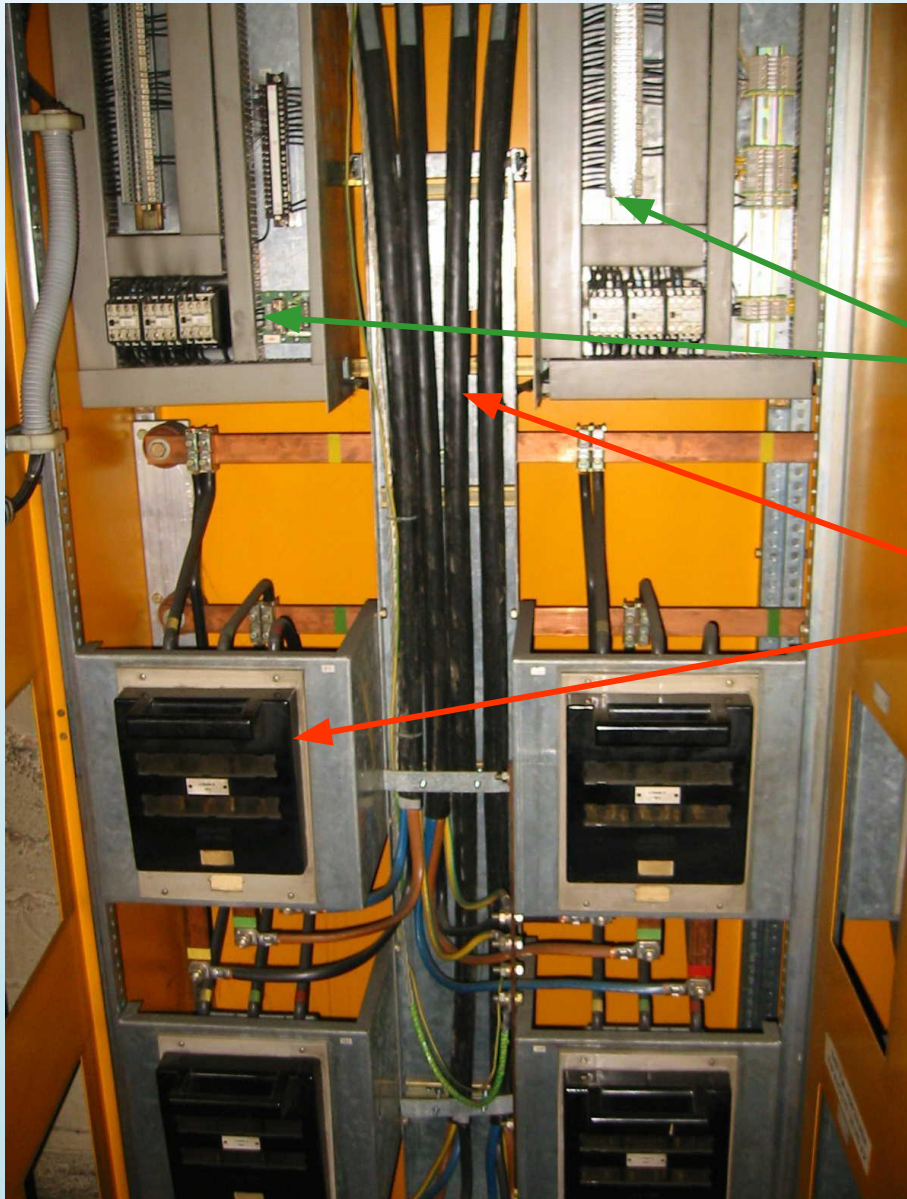


# Типичные источники помех внутри зданий с аппаратурой



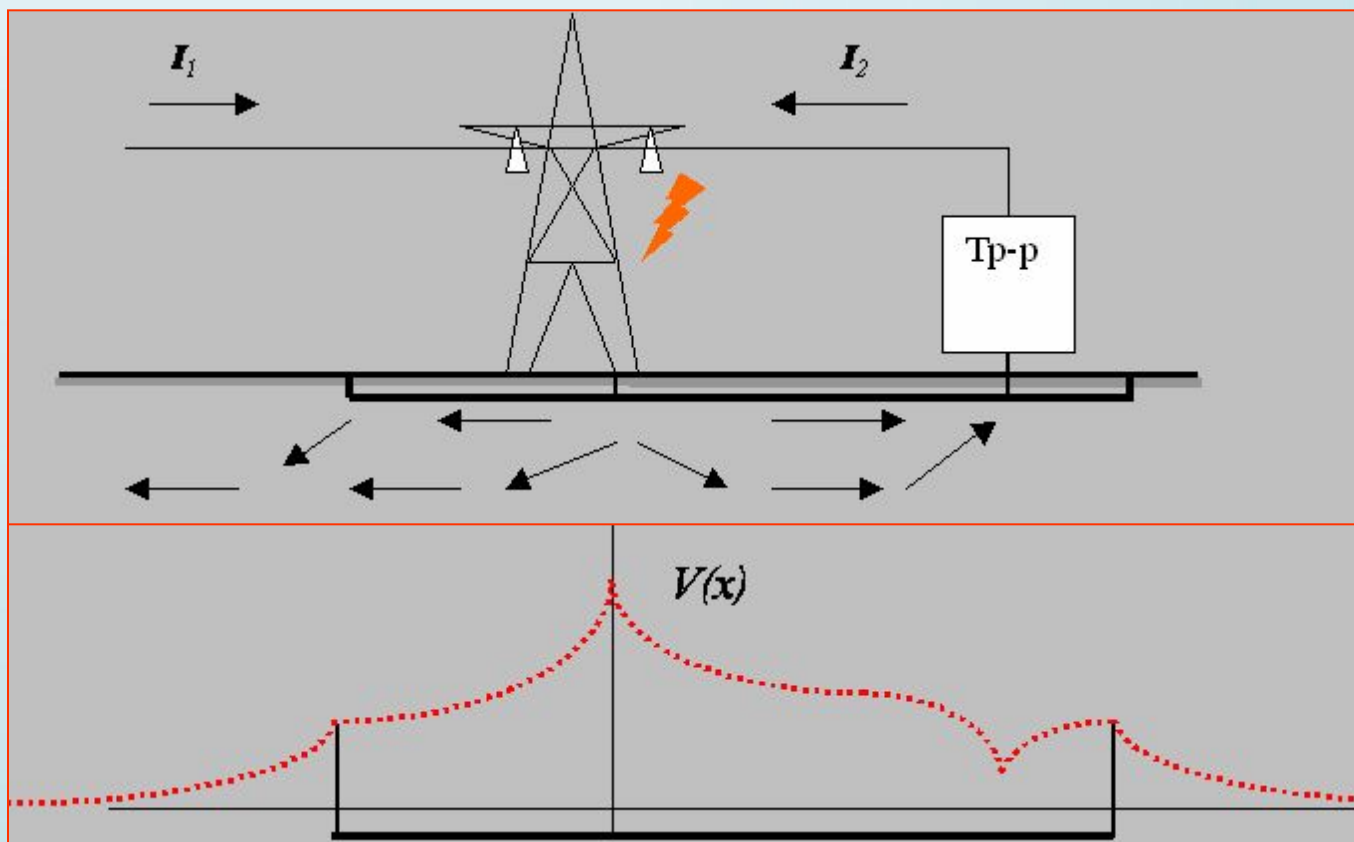
- 4 – коммутации электро-механических устройств различного назначения
- 5 – штатная работа сило-вого электрооборудования (до и выше 1 кВ)
- 6 – работа портативных раций, используемых персоналом
- 7 – электростатический разряд

## Пример



Иногда информационные цепи и электронная аппаратура располагаются рядом с силовым электрооборудованием включая контакторы, мощные реле и т.п. Это может привести к проблемам ЭМС, особенно при коммутациях силовых цепей.

# Потенциалы на элементах заземляющего устройства при КЗ



При протекании тока однофазного КЗ в сетях с эффективно заземленной нейтралью часть тока КЗ возвращается к нейтралям собственных трансформаторов объекта, а другая часть – к нейтралям трансформаторов других объектов (подпитка из энергосистемы). При этом протекание тока по элементам заземляющего устройства (ЗУ) порождает разности потенциалов.

Это обуславливает сложный характер изменения потенциала в пределах ЗУ энергообъекта. Образуются разности потенциалов от нескольких сот вольт до нескольких киловольт. Эти разности могут быть приложены к изоляции вторичных цепей и входам аппаратуры.

Аналогичная ситуация возможна в сетях с изолированной нейтралью при двойном замыкании на землю. Она не является исключением, так как является дальнейшим развитием ситуации однофазного (дугового) замыкания на землю.

## Воздействие магнитного поля тока КЗ:

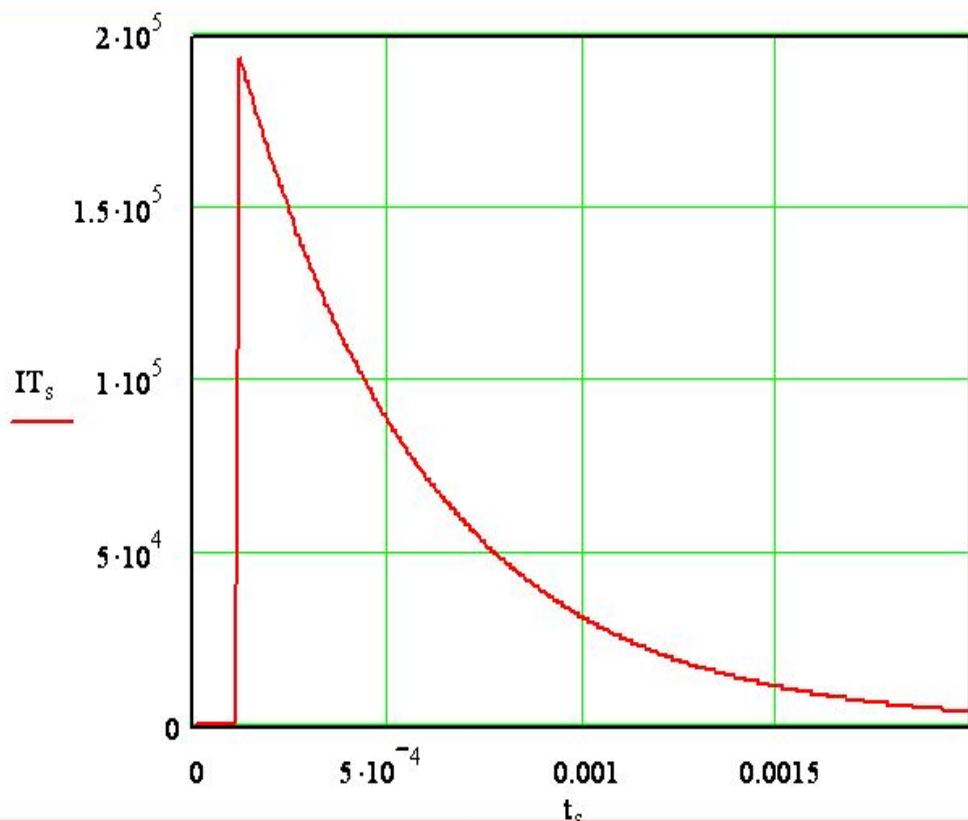


1. Наводки на кабели.
2. Воздействие непосредственно на аппаратуру.

Опасность представляют не только разности потенциалов при КЗ, но и магнитные поля, создаваемые токами КЗ.

При протекании тока КЗ через ЗУ объекта фазные проводники и элементы ЗУ в совокупности образуют нечто подобное рамочной антенне.

# Помехи от грозовых разрядов



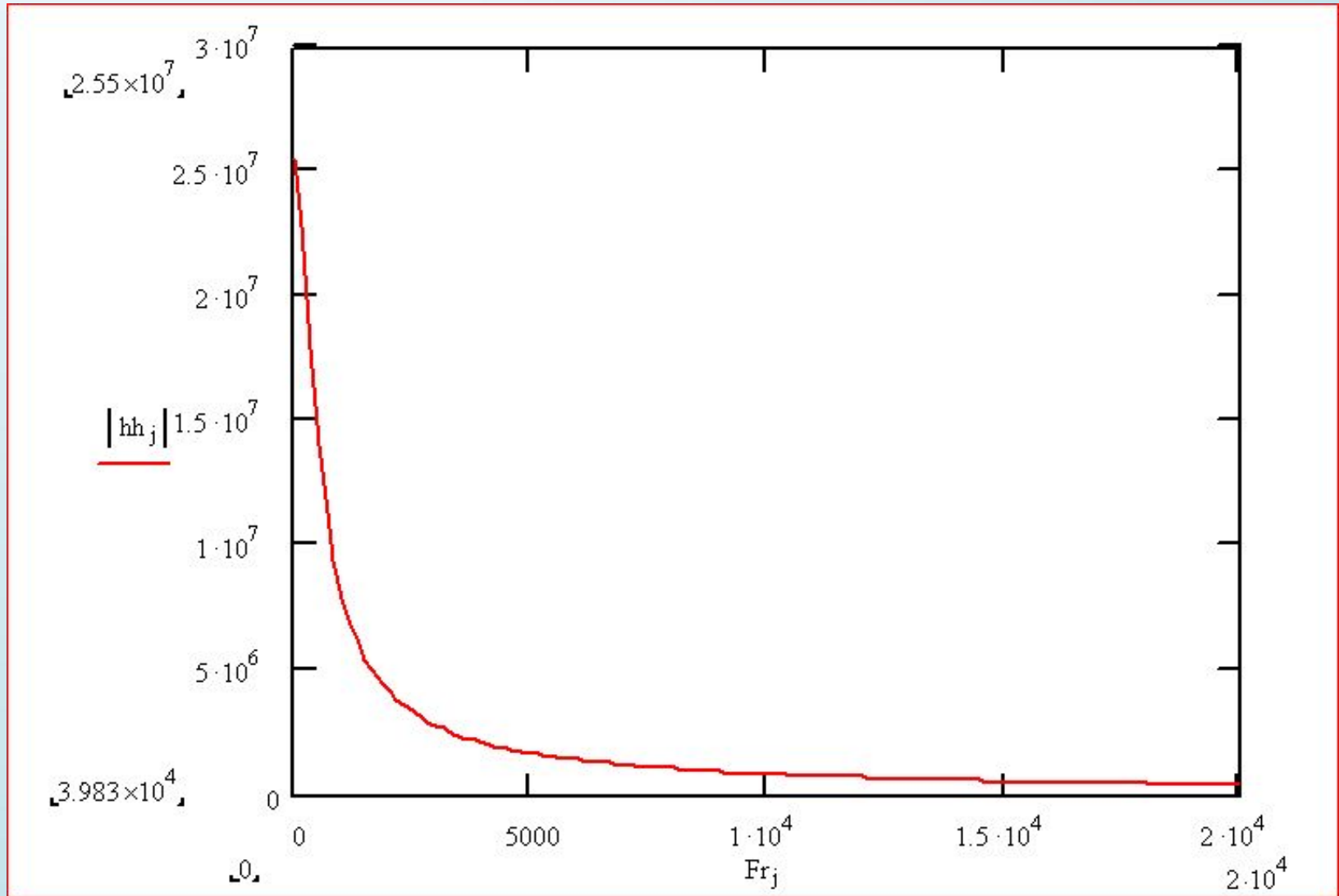
Форма импульсного тока молнии (согласно МЭК, время - в с, амплитуда – до 200 кА)

Длительность фронта импульса составляет 10 мкс, а общая длительность импульса – 350 мкс. Это почти в 100 раз меньше одного периода промышленной частоты.

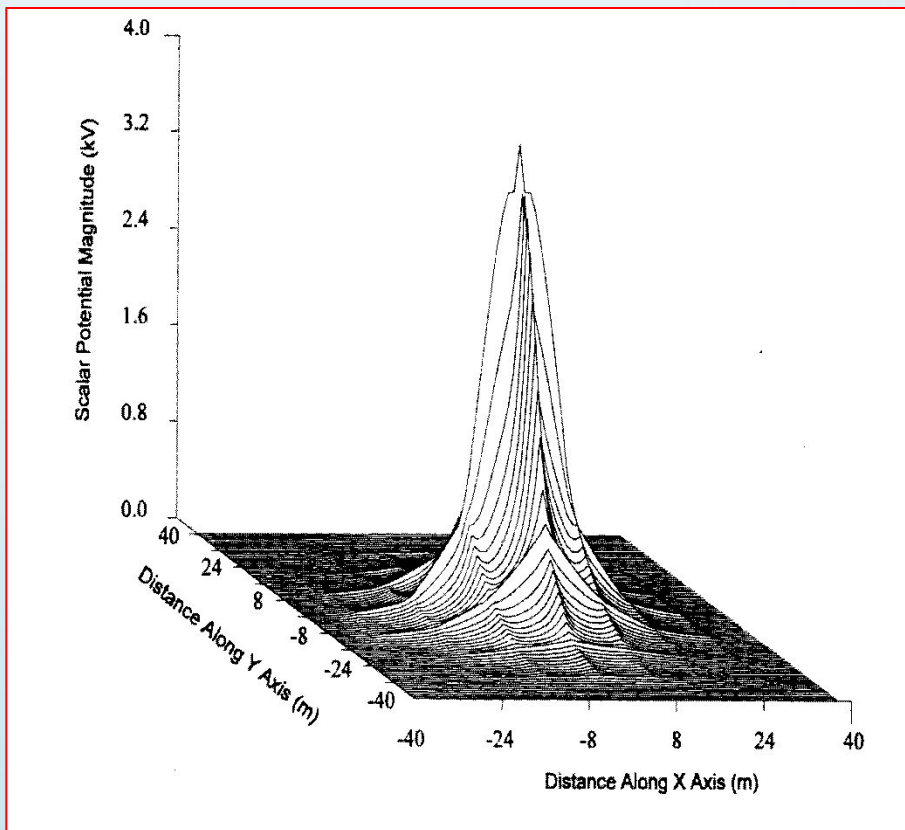
Молниевый разряд является крайне опасным источником помех. Максимальная амплитуда тока (до 100 – 200 кА) обычно значительно превышает характерные величины токов КЗ. Параметры «эталонного» импульса молнии нормируются в стандарте IEC 62305 (Lightning Protection) Международной Электротехнической Комиссии (МЭК).

См. также отечественный документ: СО 153-34.21.122-2003.

## Частотный спектр импульса молнии достигает десятков кГц.



Спектр молниевоего импульса (частота - в Гц)

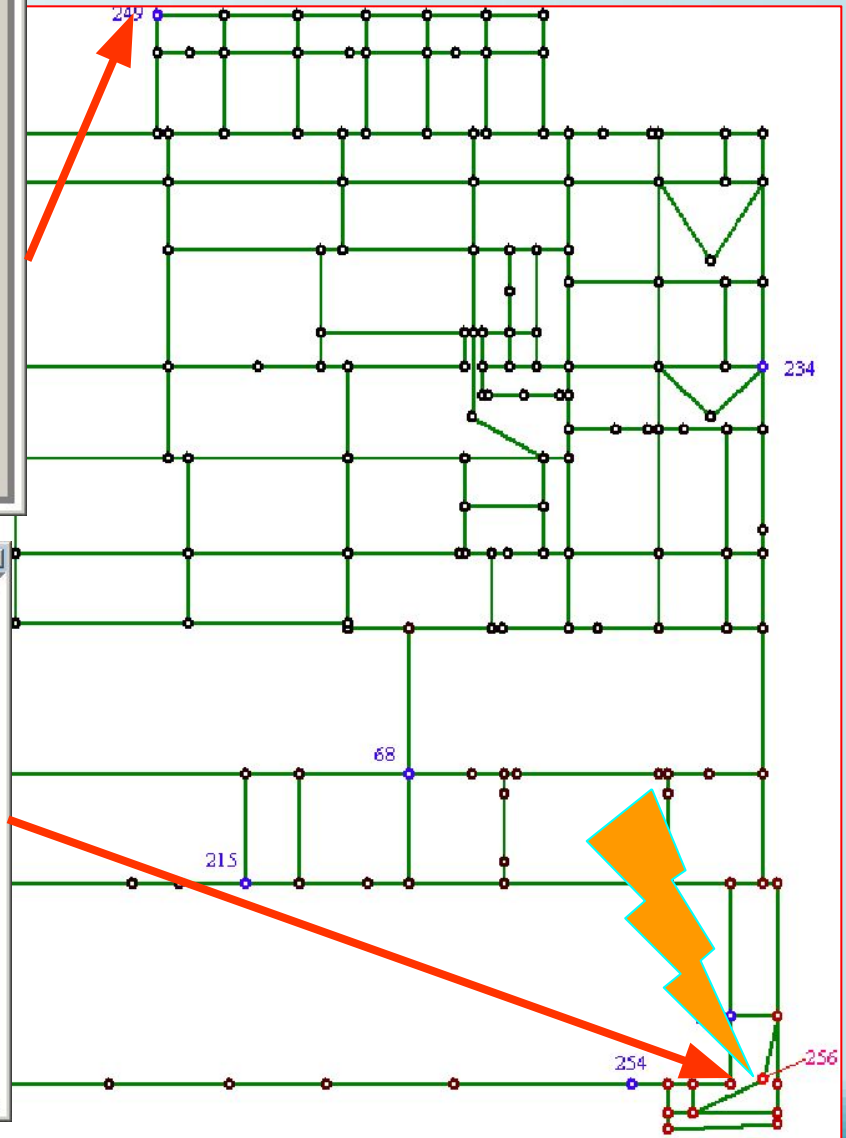
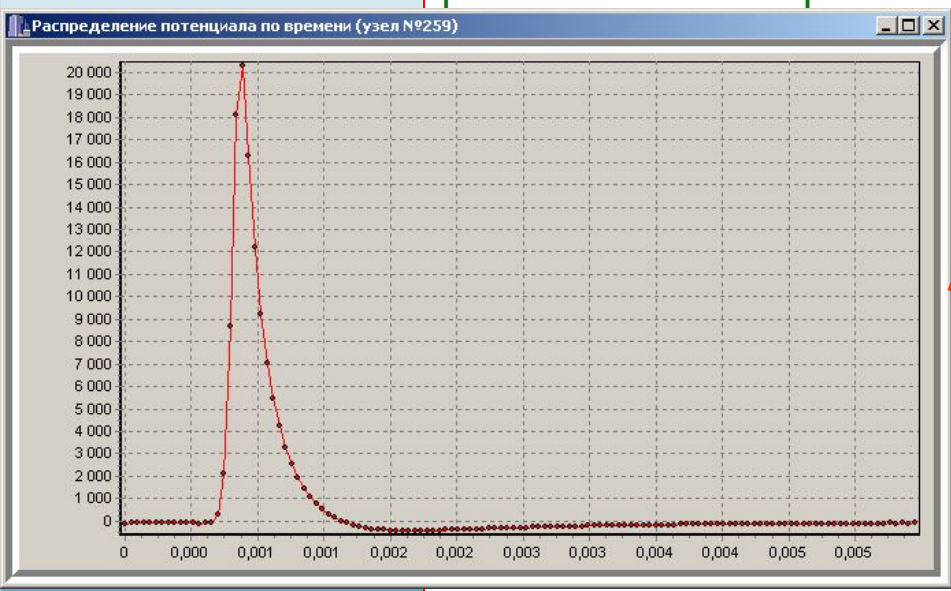
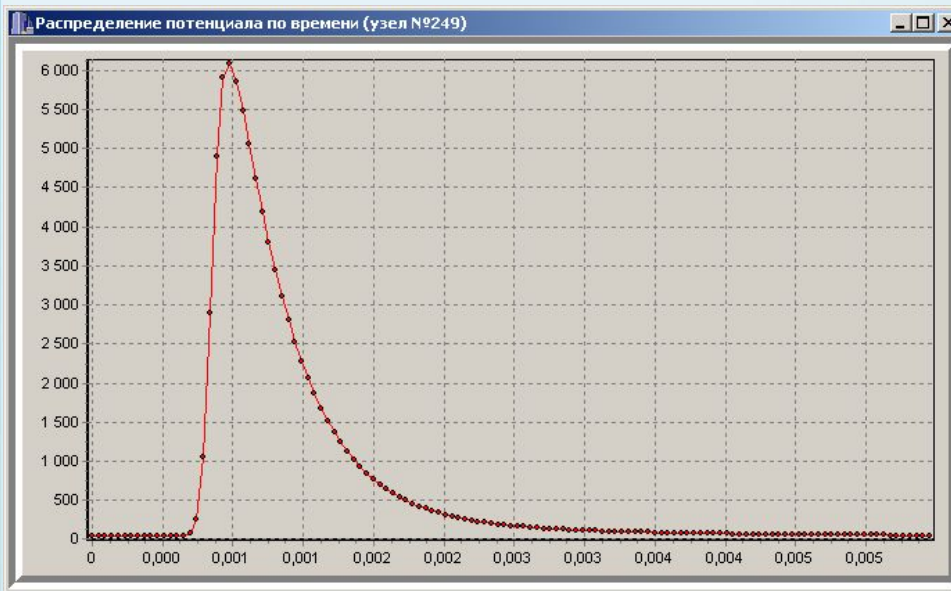


Полное сопротивление протяженных заземлителей возрастает с ростом частоты. Поэтому заземляющие устройства электрических станций и подстанций не обеспечивают эффективного выравнивания потенциалов на частотах молниевых импульсов.

Примерное распределение потенциала по сетке ЗУ на высокой частоте (по данным СИГРЭ)



# Импульсные потенциалы и разности потенциалов (расчет выполнен с использованием ПО «Контур»)



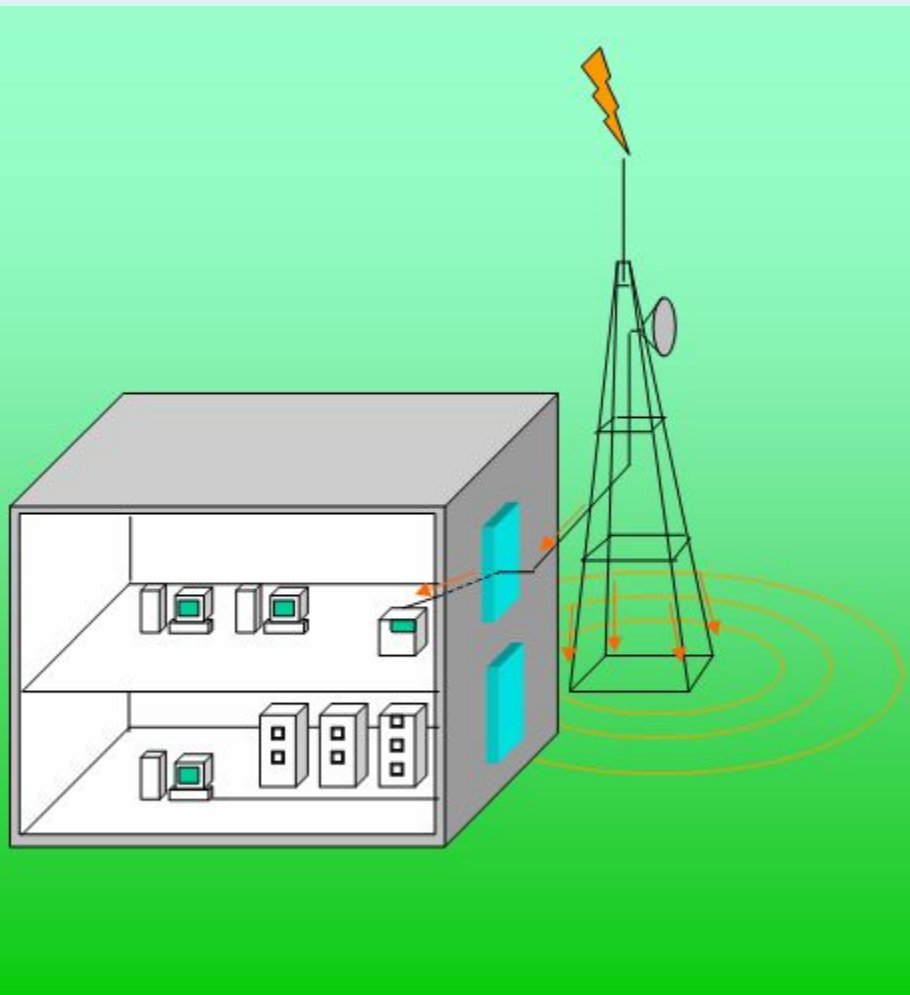
В приведенной на предыдущем слайде ситуации амплитуда импульсных потенциалов в разных частях территории ОРУ подстанции будет сильно различаться. РЩ расположен в правом нижнем углу (рядом с молниеотводом, разряд на который моделировался). В верхней части схемы находятся измерительные трансформаторы, связанные вторичными цепями с аппаратурой в РЩ.

В приведенном выше примере, к изоляции вторичных цепей и входам аппаратуры будет приложена разность потенциалов, достигающая  $20 - 6 = 14$  кВ по амплитуде. При этом максимальный потенциал оказывается на заземлении РЩ!

Причиной такой ситуации является ошибка при проектировании системы молниезащиты подстанции.

Особую опасность представляют разряды на мачты радиосвязи, расположенные рядом с ОПУ.

Пример (типичная ситуация):



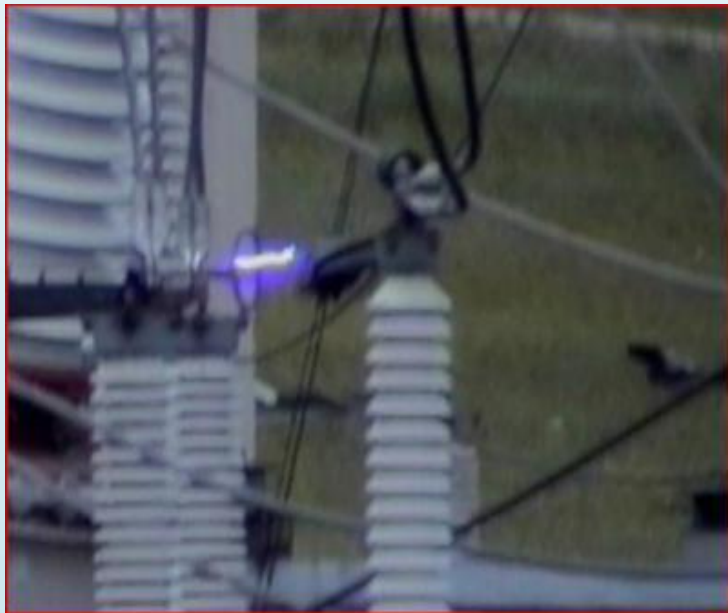
- Подъем потенциала заземления здания, кабельных каналов и лотков
- Протекание части тока молнии по экранам ВЧ- кабелей и металлоконструкциям в здании
- Наводки на кабели
- Действие электромагнитного поля на аппаратуру
- Проникновение импульса в систему питания через цепи питания устройств на мачте

На ТЭЦ и ГРЭС опасность могут представлять молниевые разряды на трубы.

При разряде на стержневые и тросовые молниеприемники возможно попадание заземления аппаратуры, измерительных трансформаторов, а также трасс прокладки вторичных цепей в зону подъема потенциала вблизи заземления молниеприемника. В этом случае недопустимо высокая разность потенциалов может быть приложена к изоляции вторичных цепей и входам аппаратуры.

Возможно распространение помех по сети собственных нужд при разряде на молниеприемники прожекторных мачт.

# Помехи при коммутациях высоковольтного оборудования



- Проникновение помех во вторичные цепи ФП, ТН, ТТ
- Наводки на любые вторичные цепи, в том числе питания, связи
- Появление импульсных потенциалов и токов в элементах ЗУ
- Воздействие электромагнитного поля непосредственно на аппаратуру

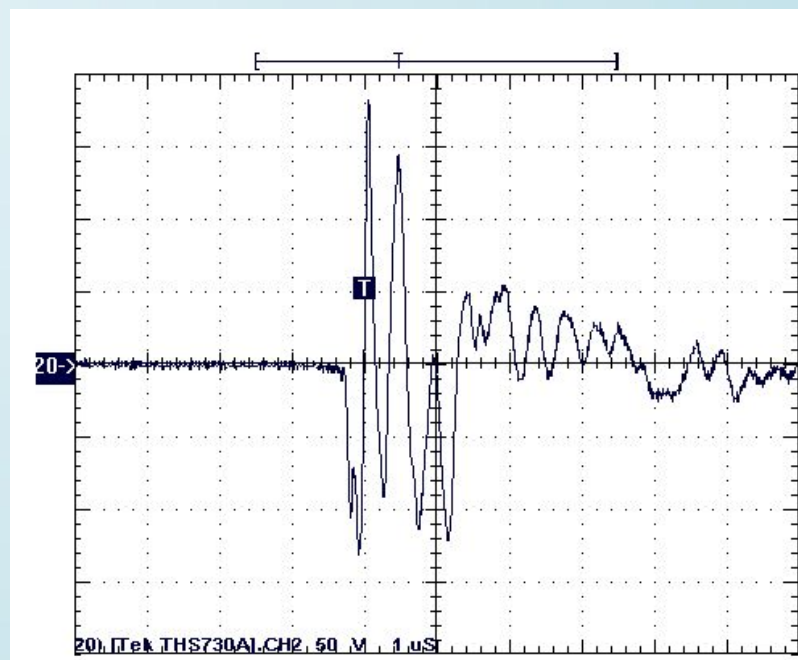
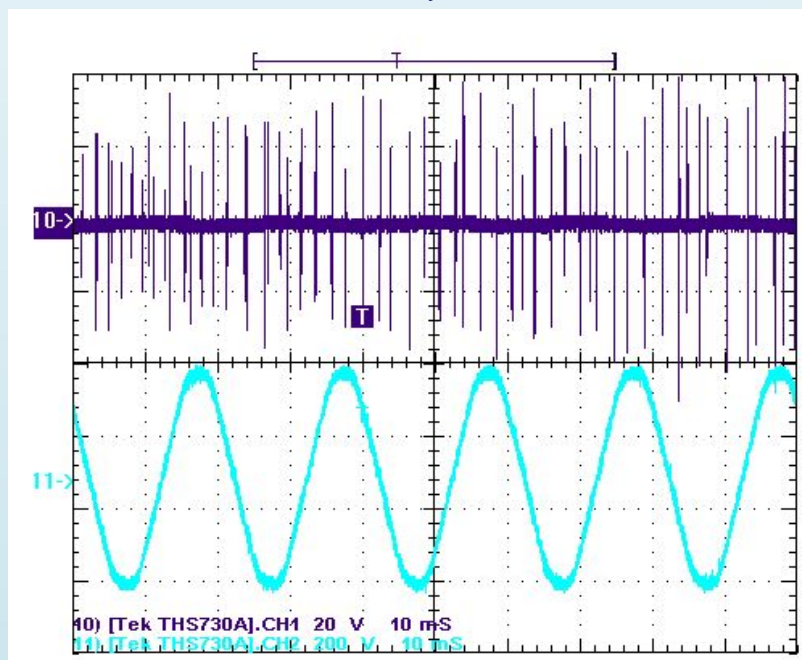
При работе коммутационных аппаратов генерируются высокочастотные токи и перенапряжения в первичной сети. Причиной их возникновения являются высокочастотные переходные процессы, протекающие в коммутируемых шинах, ВЛ и т.п. Аналогичная ситуация наблюдается при КЗ (поскольку наряду с низкочастотной составляющей ток КЗ имеет высокочастотную импульсную составляющую).

Любой элемент первичной сети обладает распределенной или сосредоточенной емкостью и индуктивностью. Таким образом, образуется колебательный контур, в котором при переключениях возбуждаются высокочастотные колебания.

Через различные механизмы связи (гальванический, индуктивный, емкостной) эти помехи попадают во вторичные цепи и затем – на входы аппаратуры.

Иногда (особенно при коммутациях разъединителями) воздействие помех носит многократный характер. Причиной этого является многократный пробой воздушного промежутка за время работы коммутационного аппарата.

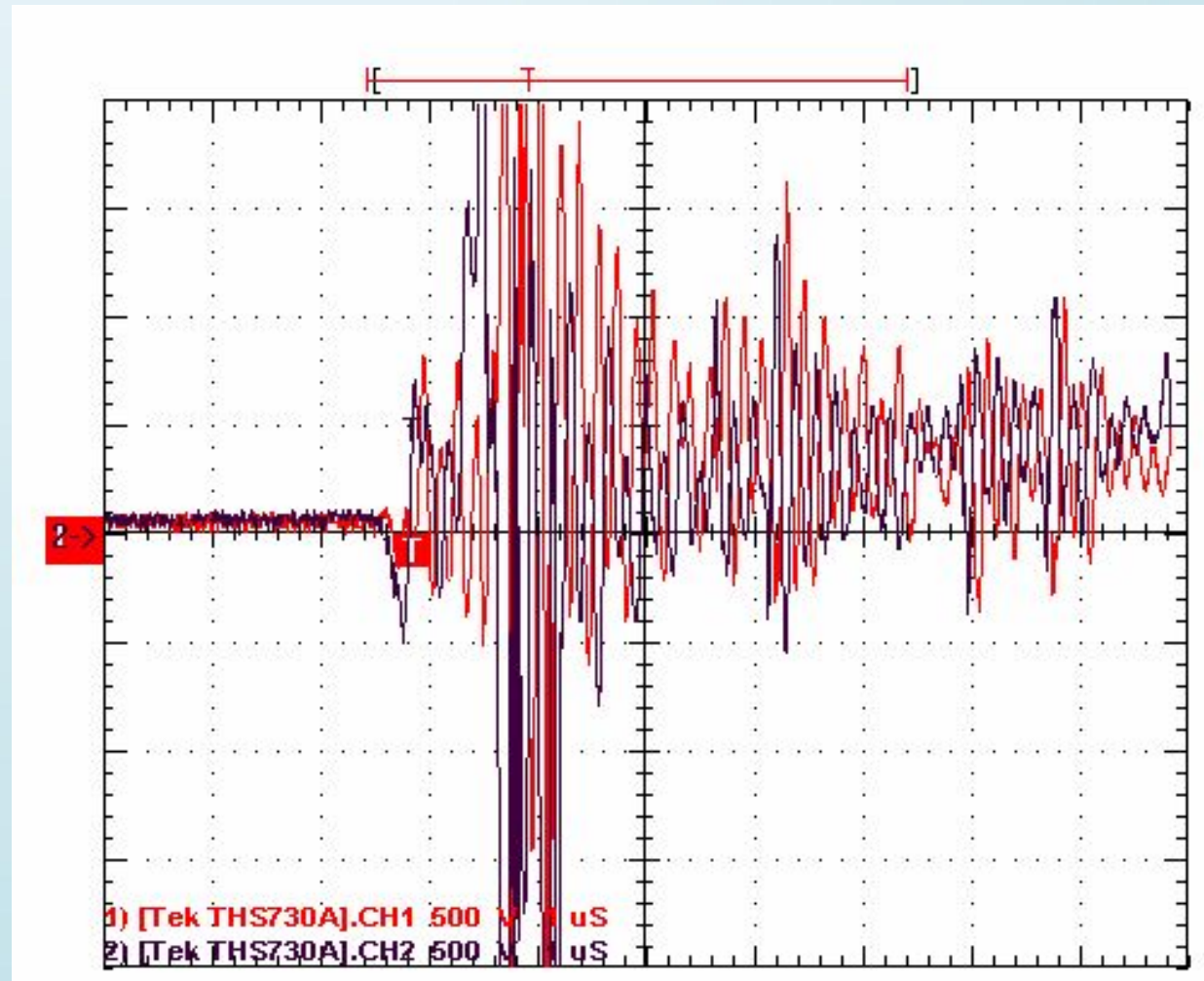
*Типичная коммутационная помеха:*



- Пачки импульсов при работе трехфазного разъединителя 110 кВ

- Развертка одной пачки (1 мкс/дел.)

Иногда амплитуда коммутационных помех достигает нескольких кВ, что представляет опасность для электронной аппаратуры и даже изоляции вторичных цепей.



Помехи в цепях ДФЗ и ТН на одной из подстанций 330 кВ  
Цена деления на графике – 500 Вольт по вертикали.



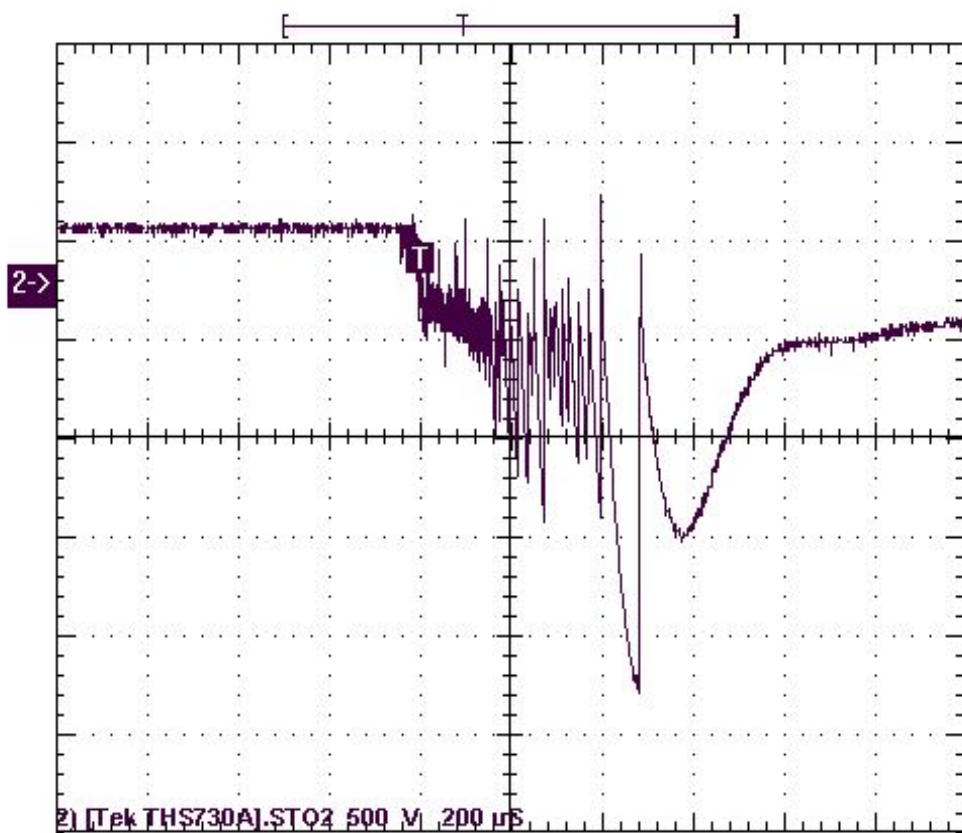
## Помехи при работе низковольтных электромеханических устройств

Работа реле, контакторов и других электромеханических устройств

Частоты до 50 МГц и выше

Амплитуда – до 2 кВ (типично – сотни В)

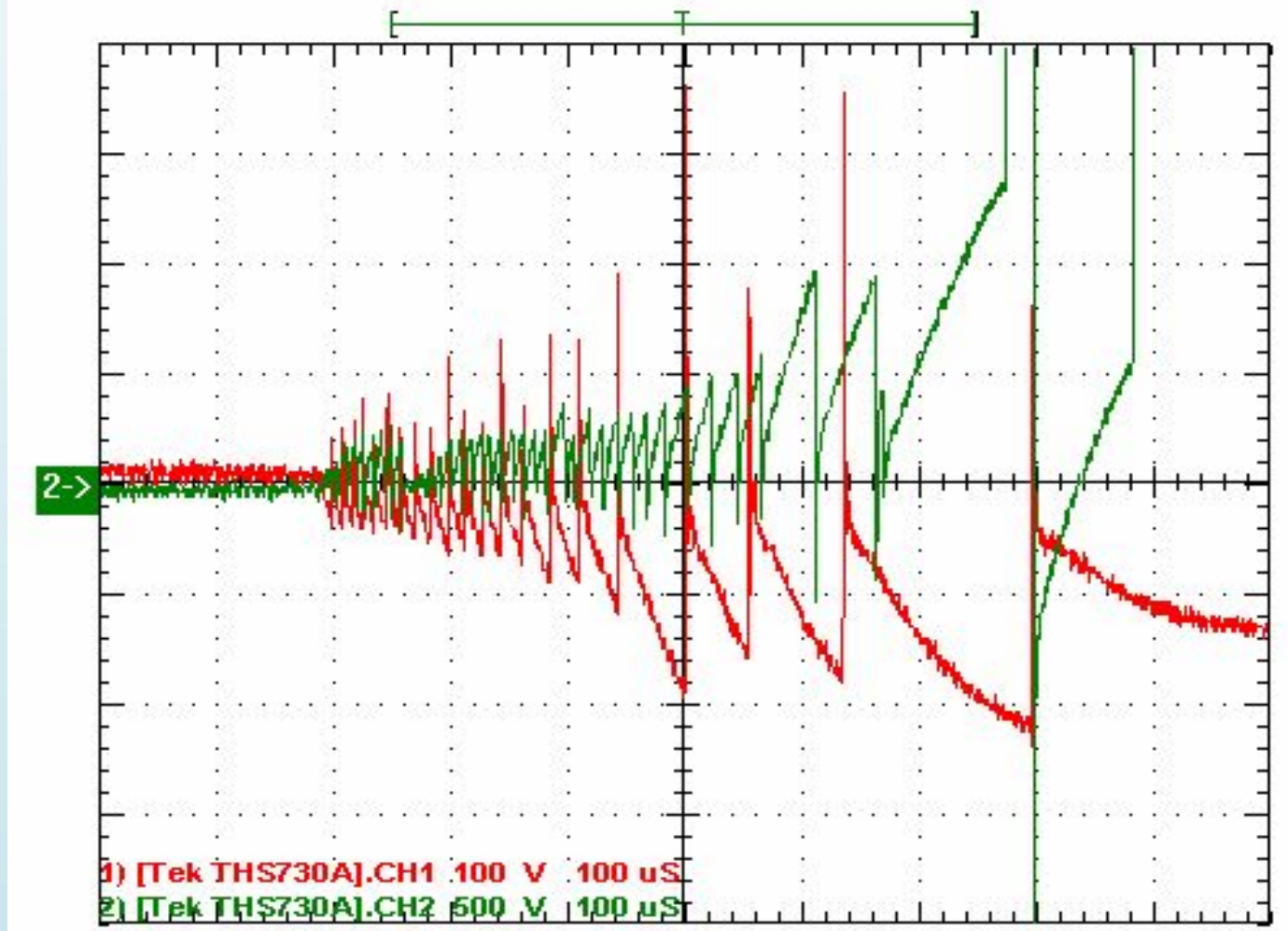
Воздействуют на все цепи (т.к. коэффициенты взаимовлияния велики). Особенно опасны влияния на незащищенные информационные цепи малой длины



Опасные помехи могут возникать и при коммутациях в сетях до 1 кВ. Типичная ситуация – разрыв тока в индуктивной нагрузке (например, на обмотке контактора). Механизм генерации помехи амплитудой до нескольких кВ полностью аналогичен принципу работы системы зажигания двигателя внутреннего сгорания.

При разрыве тока, протекающего через обмотку, в силу закона электромагнитной индукции возникают перенапряжения.

Теоретически, при мгновенном прекращении протекания тока, перенапряжение будет бесконечно большим. В реальности, перенапряжение лимитируется электрической прочностью воздушного промежутка коммутационного аппарата. Емкости (паразитные или специально включенные) также могут снизить амплитуду помех.



Осциллограмма помехи в цепях контроля и управления при включении контактора (Москва, один из аэропортов). Воздействие этих помех приводило к неоднократному повреждению электронной аппаратуры.

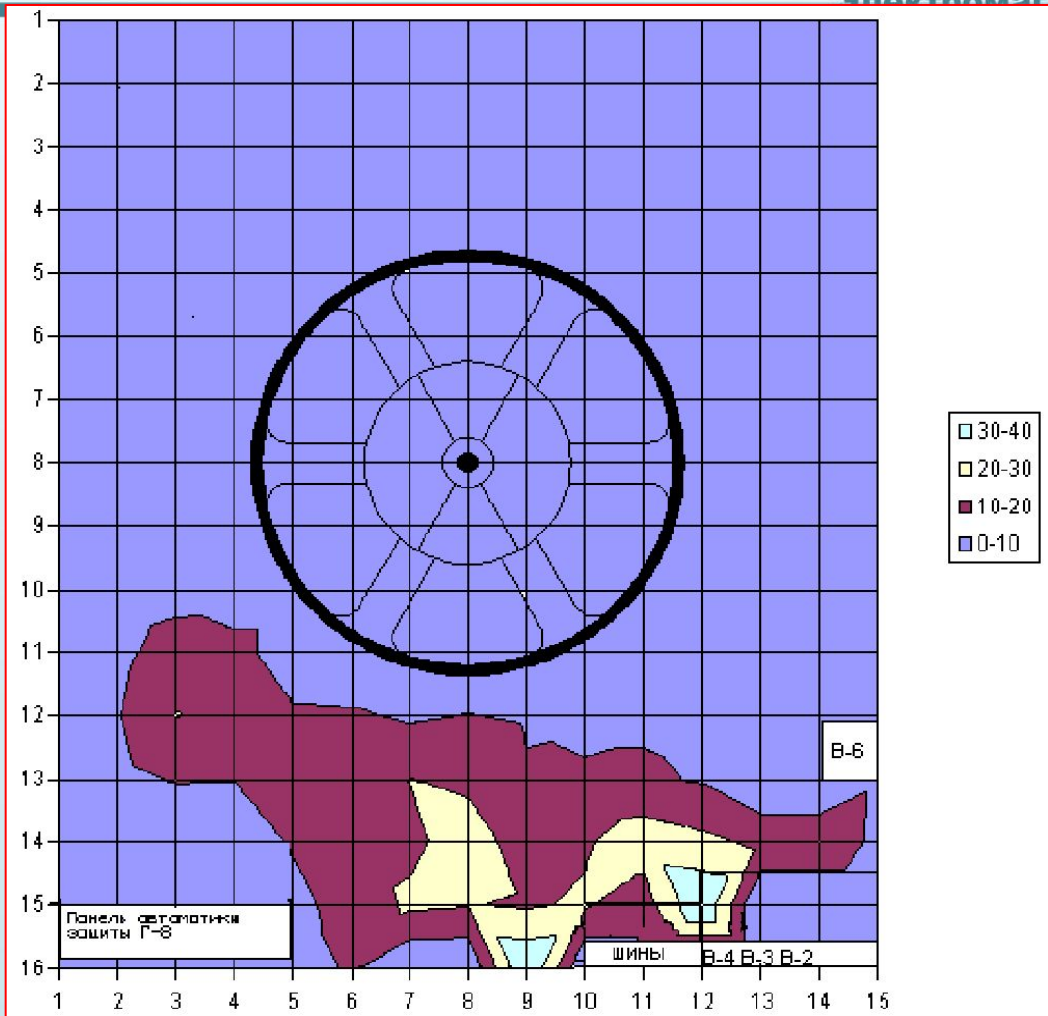
# Поля при штатной работе силового оборудования

## Низкочастотные магнитные поля при нормальной работе силового электрооборудования

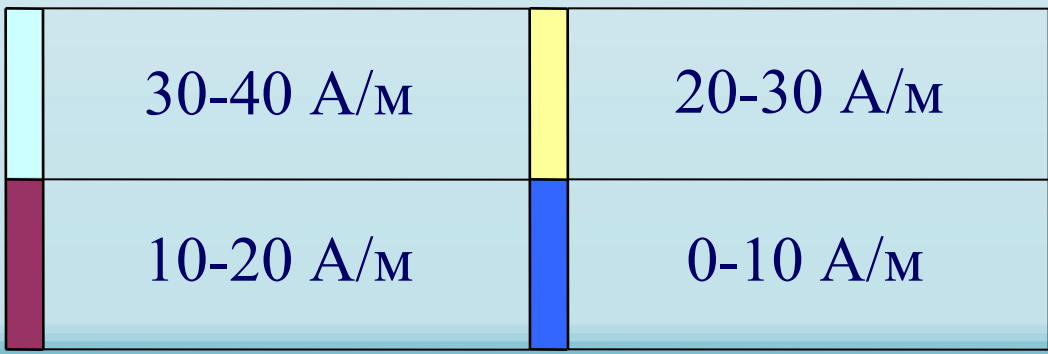


Протекание рабочих токов по силовым цепям до и выше 1 кВ порождает, согласно закону Био-Савара-Лапласа, магнитное поле. В отличие от электрического поля, создаваемого, в частности, высоковольтным оборудованием, магнитное поле промышленной частоты слабо экранируется строительными конструкциями, корпусами панелей, ячеек и т.п.

Поэтому в месте расположения аппаратуры уровень магнитного поля может оказаться недопустимо высоким по условиям ЭМС МП аппаратуры.



Пример – уровни магнитного поля в отдельных точках машинного зала ГЭС и в прилегающих помещениях могут превосходить уровень устойчивости электронной аппаратуры, даже специально предназначенной для применения на энергообъектах. Наибольший уровень поля фиксируется вблизи шин генераторного напряжения, а также цепей возбуждения.



10 А/м – 3-й класс жесткости  
 30 А/м - 4-й класс жесткости  
 >30 А/м - 5-й класс жесткости

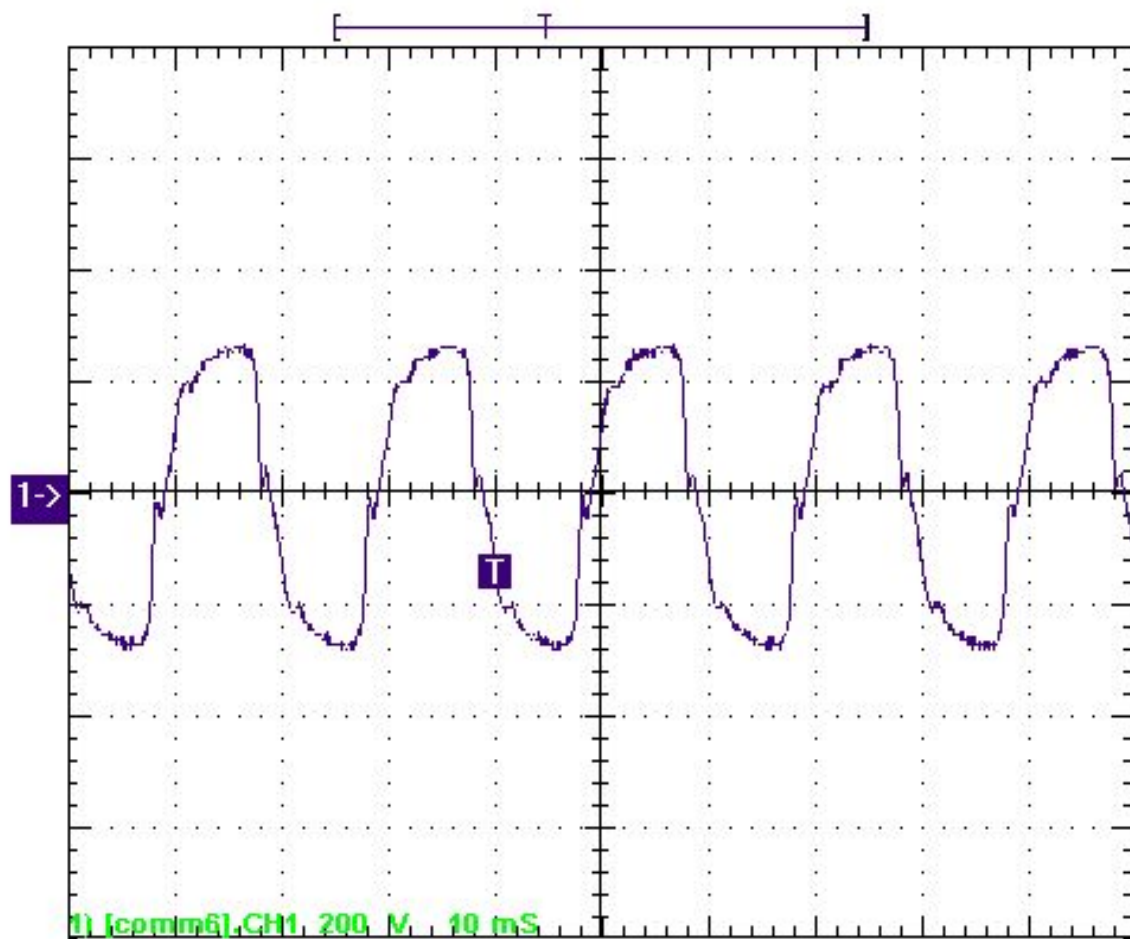
## Поля при работе радиосредств

В некоторых случаях фиксируется неблагоприятное воздействие на аппаратуру радиочастотных электромагнитных полей.

Напряженность поля, создаваемого любыми радиосредствами, быстро падает по мере удаления от передающей антенны. Поэтому поле от портативной радиостанции, работающей рядом с аппаратурой, может оказаться более опасным, чем поле от мощного радиодиацентра, размещенного на расстоянии нескольких сот метров от объекта.

Антенны радиорелейной и космической связи обычно являются направленными, и при правильной установке опасности для МП аппаратуры не создают.

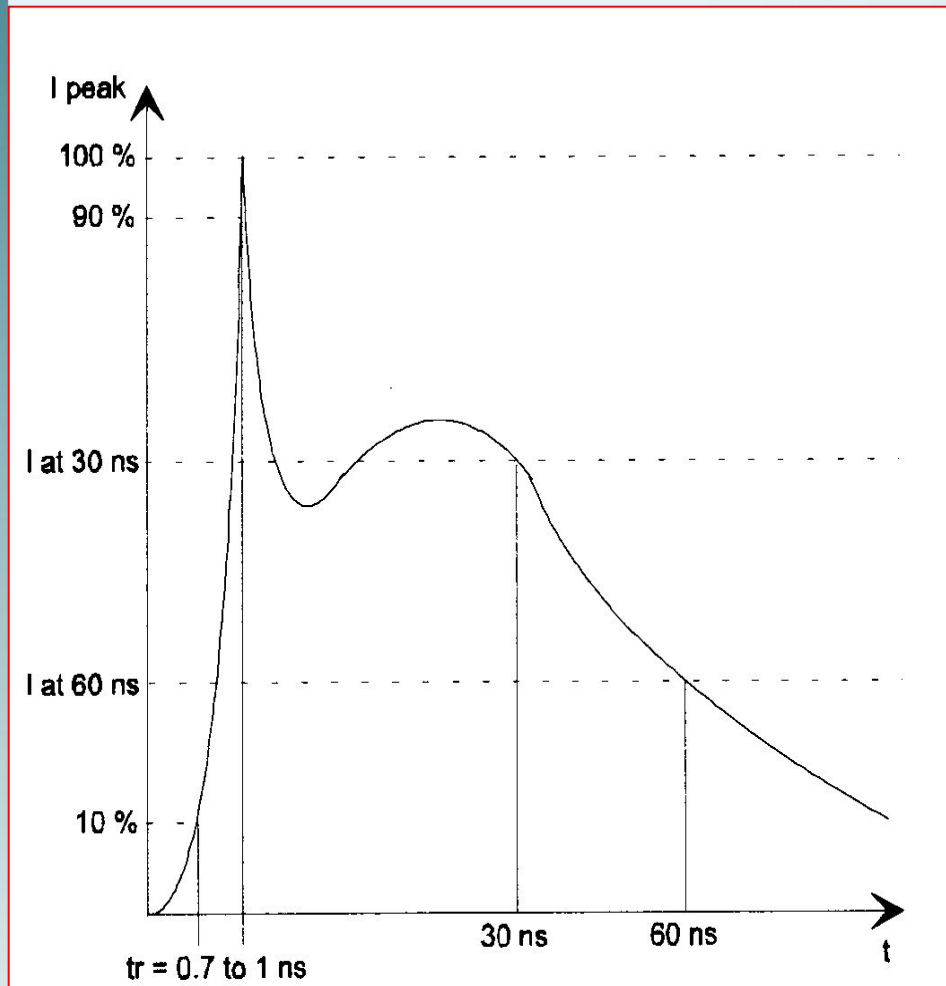
# Низкое качество напряжения питания



Низкое качество напряжения питания в цепях переменного и постоянного тока может иметь различные причины. Наиболее распространенные – недостаточная мощность источника питания (особенно резервного – ИБП, дизель-генератор и т.п.), существенно нелинейный характер нагрузки (например, блоки питания электронной аппаратуры), кратковремен-

ные скачки потребляемой мощности (например, при работе электроприводов выключателей).

# Электростатические потенциалы

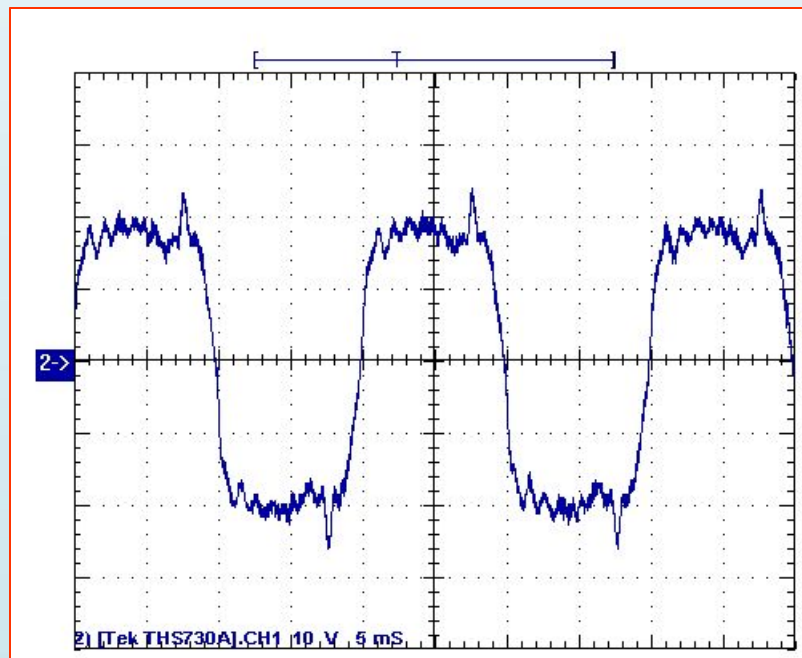


Электростатический разряд представляет опасность для современной аппаратуры из-за высокочастотного характера импульса (фронт – менее 1 нс). Хотя энергия, переносимая таким импульсом, мала, за счет высокой амплитуды недопустимое влияние на аппаратуру (в первую очередь, логические элементы) оказывается возможным.

Примерная форма импульса тока при электростатическом разряде



# Штатные режимы работы электроустановок, допускающие протекание значительных токов через ЗУ объекта



Пример: вынос потенциала с  
ЗУ тяговой ПС на узел связи.

Этот потенциал может вызывать появление помех, в частности – в цепях связи с другими объектами. При больших размерах объекта или плохом состоянии его заземляющего устройства, значительные разности потенциалов могут появиться и в пределах территории объекта.

## Виды связи между источником и приемником помехи

В зависимости от механизма распространения между источником и приемником (подверженными влиянию цепями и аппаратурой) ЭМП могут разделяться на *емкостные, индуктивные* и *кондуктивные*.

При воздействии высокочастотного электромагнитного поля в данной зоне говорят еще о *наведенных электромагнитных* помехах.

*Емкостными* и *индуктивными* называют ЭМП, распространяющиеся в виде соответственно электрического и магнитного полей в непроводящих средах.

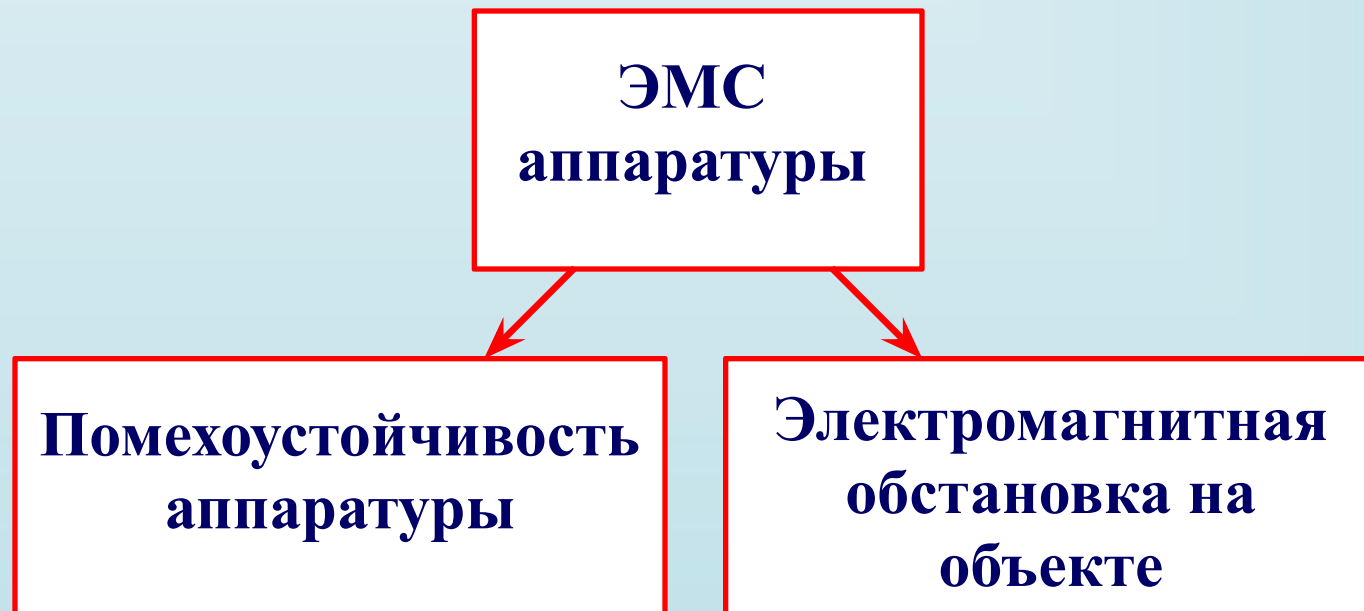
*Кондуктивные* ЭМП - это помехи, возникающие в общих цепях, например в заземлении или любых металлических конструкциях.

# Общий подход к решению проблемы ЭМС

Для достижения ЭМС используется комбинация двух подходов.

Во-первых, должен обеспечиваться определенный уровень собственной устойчивости к помехам применяемой аппаратуры.

Во-вторых, ЭМО на объекте должна поддерживаться в таком состоянии, чтобы действующие на аппаратуру помехи не превышали уровней устойчивости этой аппаратуры.



## Разработка раздела проектной документации

### «Электромагнитная совместимость»

- ✓ 1. Расчет сопротивления заземляющего устройства
2. Проверка систем заземления и уравнивания потенциалов на соответствие требованиям ЭМС
3. Расчет зоны молниезащиты согласно СТО Газпром 2-1.11-170-2007. Разработка на базе варианта Заказчика схемы внешней молниезащиты объекта, оптимизированной по условиям ЭМС и увязанной с разработанными схемами заземления
4. Расчет уровней магнитных полей, воздействующих на ТС объекта при молниевых разрядах
5. Расчет ЭДС, наведенной в проводниках и элементах заземляющего устройства в результате протекания тока молнии
6. Оценка возможности перекрытия искрового канала молнии в грунте на кабельные коммуникации, элементы заземления и другие конструкции объекта

7. Оценка уровня потенциала, заносимого на заземление ТС объекта при молниевых разрядах
8. Определение зон внутренней молниезащиты в местах размещения ТС объекта согласно зонной концепции
9. Расчет уровней магнитного поля, воздействующего на ТС в нормальном режиме работы оборудования и при замыканиях в сетях электроснабжения
10. Проверка системы электроснабжения на соответствие условиям нормального функционирования ТС объекта
11. Проверка результатов расчетов на соответствие уровням помехоустойчивости ТС, а также требованиям нормативной и технической документации
12. Проверка выполнения условий безопасного функционирования ТС со стороны воздействия электромагнитного поля радиочастотного диапазона и электростатических разрядов

Guide on EMC in Power Plants and Substations. CIGRE Publ.124, 1997

1. Э. Хабигер. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. А. Й. Шваб Электромагнитная совместимость. - Энергоатомиздат, М., 1995 г.
3. Матвеев М.В.: Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры. Новости электротехники, №1-2 (13-14), 2002
4. Кужекин И. П., Ларионов В. П., Прохоров Е. Н.. Молния и молниезащита. – М. "Знак". 2003.
5. Дьяков А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. М.: Мир, 2003

## Вопросы, рассмотренные на лекции:

1. Понятие электромагнитной совместимости. Проблема ЭМС в электроэнергетике.
2. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитной обстановки.
3. Техническое средство. Критерии качества функционирования технических средств при воздействии помех.
4. Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости.

Спасибо за внимание !



# Уровень помех. Помехоподавление.

Для количественной оценки электромагнитной совместимости широкое применение нашли т.н. логарифмические масштабы, позволяющие наглядно представлять соотношения величин, отличающихся на несколько порядков.

Существует два вида логарифмических отношений – уровень и степень передачи. Уровни определяют отношение величины к базовому значению.

Степень передачи определяется отношением входных и выходных величин системы и служит характеристикой ее трансляционных (передаточных) свойств.

# Логарифмические относительные характеристики. Уровни помех.

С применением десятичного логарифма определяются следующие уровни помех, измеряемые в децибелах:

Напряжение:  $u_{\text{дБ}} = 20 \lg(u_x / u_0)$ , где  $u_0 = 1 \text{ мкВ}$ ;

Ток:  $i_{\text{дБ}} = 20 \lg(i_x / i_0)$ , где  $i_0 = 1 \text{ мкА}$ ;

Напряженность электрического поля:  $E_{\text{дБ}} = 20 \lg(E_x / E_0)$ , где  $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$ ;

Напряженность магнитного поля:  $H_{\text{дБ}} = 20 \lg(H_x / H_0)$ , где  $H_0 = 1 \text{ мкА/м}$ ;

Мощность:  $P_{\text{дБ}} = 10 \lg(P_x / P_0)$ , где  $P_0 = 1 \text{ пВт}$ .

Найдем выражение  $P_{\text{дБ}}$  через  $u_{\text{дБ}}$  и  $i_{\text{дБ}}$ :  $u_{\text{дБ}} = 20 \lg(u_x / u_0)$ , откуда

$$u_x = u_0 \times 10^{\frac{u_{\text{дБ}}}{20}}.$$

Аналогично  $i_x = i_0 \times 10^{\frac{i_{\text{дБ}}}{20}}$ .

Следовательно  $P_x = u_x \times i_x = u_0 i_0 \times 10^{\frac{u_{\text{дБ}} + i_{\text{дБ}}}{20}} = P_0 \times 10^{\frac{u_{\text{дБ}} + i_{\text{дБ}}}{20}}$ , откуда  $P_x / P_0 = 10^{\frac{u_{\text{дБ}} + i_{\text{дБ}}}{20}}$

Но по определению  $P_{\text{дБ}} = 10 \lg(P_x / P_0) = 20 \lg(10^{\frac{u_{\text{дБ}} + i_{\text{дБ}}}{20}}) = (u_{\text{дБ}} + i_{\text{дБ}}) / 2$ .

Кроме десятичных логарифмов используются также и натуральные логарифмы. При этом уровень помех измеряется в неперах:

Напряжение:  $u_{Нп} = \ln(u_x / u_0)$ , где  $u_0 = 1 \text{ мкВ}$ ;

Ток:  $i_{Нп} = \ln(i_x / i_0)$ , где  $i_0 = 1 \text{ мкА}$ ;

Напряженность электрического поля:  $E_{Нп} = \ln(E_x / E_0)$ , где  $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$

Напряженность магнитного поля:  $H_{Нп} = \ln(H_x / H_0)$ , где  $H_0 = 1 \text{ мкА/м}$ ;

Мощность:  $P_{Нп} = 0,5 \ln(P_x / P_0)$ , где  $P_0 = 1 \text{ пВт}$ .

Между децибелом и непером существуют соотношения:  $1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}$  или  $1 \text{ дБ} = 0,115 \text{ Нп}$ .

Приведем наиболее часто используемые характерные значения дБ и соответствующие им отношения стоящие под знаком логарифма:

$2:1 - 6 \text{ дБ}$ ;  $10:1 - 20 \text{ дБ} = 2,3 \text{ Нп}$ ;  $100:1 - 40 \text{ дБ} = 4,6 \text{ Нп}$ ;  $1000:1 - 60 \text{ дБ} = 6,9 \text{ Нп}$ ;  $10\ 000:1 - 80 \text{ дБ} = 9,2 \text{ Нп}$ ;  $100\ 000:1 - 100 \text{ дБ} = 11,5 \text{ Нп}$ ;  $1000\ 000:1 - 120 \text{ дБ} = 13,8 \text{ Нп}$ .

Степень передачи. Помехоподавление

Одним из понятий, характеризующих степень передачи системы, является понятие «помехоподавление». Понятие «**помехоподавление**» служит для характеристики защитного воздействия средств защиты от помех. Как правило, степень помехоподавления зависит от частоты. В качестве одной из количественных характеристик степени помехоподавления на той или иной частоте служит логарифм отношения напряжений на входе  $U_1$  и на выходе  $U_2$  фильтра, который называется **коэффициент затухания  $a_\phi$** , или напряженности поля в точках пространства перед экраном  $H_0$  и за ним  $H_{вт}$  **коэффициент экранирования  $a_\varepsilon$** ):

$$a_\phi = 20 \lg(U_1 / U_2); \quad a_\varepsilon = 20 \lg(H_0 / H_{вт}).$$