

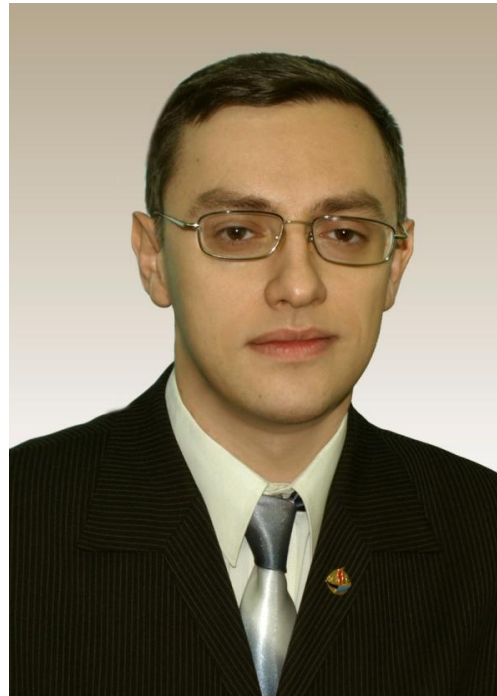


university

Тюменский
индустриальный
университет

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

www.tyuiu.ru



ЛЕОНОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ

leonoven@tyuiu.ru



university

Тюменский
индустриальный
университет

ВВЕДЕНИЕ

www.tyuiu.ru

Понятие **совместимости** предполагает наличие как минимум двух субъектов, один из которых воздействует на другой.

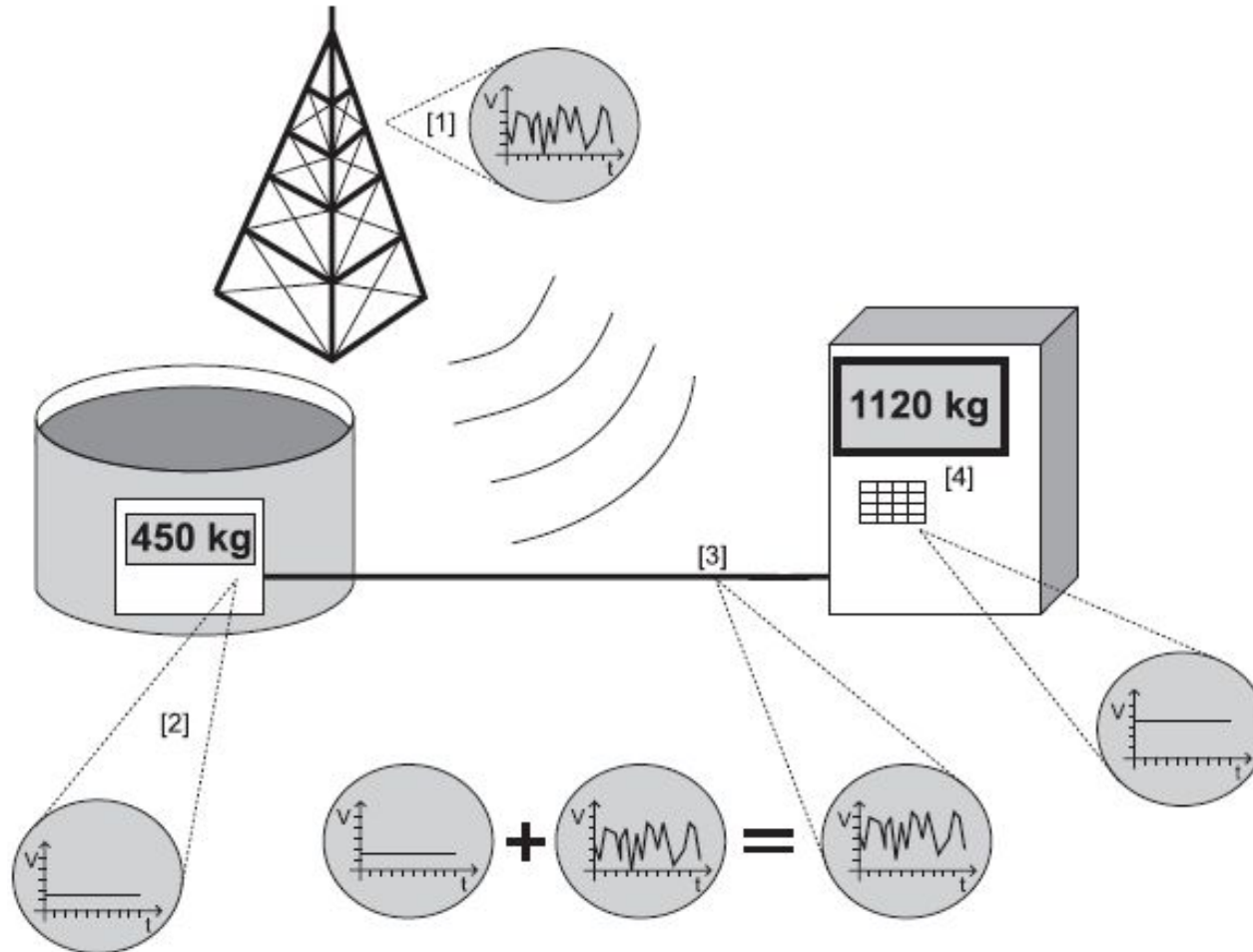
Воздействие характеризуется действующим фактором, для которого должны быть определены:

- 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.



Взаимодействие технических
средств



Пример воздействия на измерительную линию
 Помеха из-за излучения [1] на указателе уровня [2],
 линии [3], контрольном блоке [4]

Электромагнитная совместимость (ЭМС) является современным понятием, объединяющим такие известные электромагнитные явления, как радиопомехи, влияние на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т. д.

Впервые *термин ЭМС был введен в 1964 году*, когда группа американского комитета электрической и электронной промышленности (IEEE) по *радиопомехам* изменила свое название на группу IEEE по *ЭМС* и отразила это в названиях своих периодических изданий.

ГОСТ 30372-2017 (IEC 60050-161:1990) «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения» определяет **электромагнитную совместимость технических средств** как **«способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам»**

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы:

Проблема ЭМС является одной из трудноразрешимых задач. Статистика по различным отраслям (собранная страховыми компаниями), подтверждает актуальность проблем ЭМС и защиты от перенапряжений. Особую актуальность проблема ЭМС приобретает для систем управления ответственными технологическими процессами (ОТП), связанными с жизнью людей, сохранностью материальных ценностей и окружающей среды.

Электромагнитные влияния могут проявляться в виде обратимых и необратимых нарушений.

Так, в качестве обратимого нарушения можно назвать шум при телефонном разговоре.

К необратимому нарушению относится сбой в работе системы релейной защиты, приведший к отключению нагрузки.

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 8

импульсы с высокой скоростью нарастающей составляющей составляет \$1.8 млрд. (EPRI CO corp.)

Россия:

Подстанция 500 кВ в центре России – повреждение аппаратуры связи при молниевом разряде.

Одна из АЭС – сбои в работе системы регулирования выходной мощности генератора под действием коммутационных помех, повреждение вторичных цепей перенапряжениями.

Диспетчерских пункт ряда энергосистем – повреждение электронной аппаратуры при молниевом разряде.

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП), крупного металлургического комбината – ложная работа микропроцессорной (МП) защиты под действием помех при коммутациях элегазового оборудования.

Крупная ТЭЦ в Европейской части России – нарушение нормальной работы аппаратуры автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ) при переключениях в сети собственных нужд.

Современная ТЭЦ с новыми агрегатами – ложная работа защиты при коммутации разъединителя 330 кВ.

Новый этап осмысления проблемы обеспечения безопасности начался после крупных катастроф на химическом комбинате в Бхопале, на АЭС в Три-Майл-Айланде и Чернобыле, на космическом корабле многоразового использования Челленджер, приведших к человеческим жертвам, потере огромных материальных ценностей и экологическим бедствиям.

К нарушениям условий безопасности могут привести не только отказы элементов микроэлектронных систем управления ответственных технологических процессам, но и сбои, вызванные действием электромагнитных помех (ЭМП).

Например: гибель английского эсминца «Шеффилд» от управляемой ракеты из-за недостаточной ЭМС радиоэлектронные системы (РЭС) корабля (англо-аргентинский конфликт), гибель 10 человек обслуживающего персонала из-за сбоев в работе роботизированных комплексов в Японии.

Известны также случаи, когда из-за сбоев в работе компьютеров ракеты с ядерными боеголовками приведены в состояние 30-ти секундной готовности.

В процессе эксплуатации системы управления и защиты (СУЗ) АЭС с реакторами ВВМК в период с 1988 по 1991 год 41% от общего числа их

С 01.01.96 г. согласно принятых законов, на рынок не допускается ни одно электронное или электрическое изделие не отвечающее требованиям по ЭМС.

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.

С учетом изложенного **электрическое устройство считается совместимым, если** оно в качестве передатчика является источником электромагнитных помех не выше допустимых, а в качестве приемника обладает допустимой чувствительностью к посторонним влияниям, т.е. **достаточной помехоустойчивостью и иммунитетом**

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

Устройства релейной защиты и автоматики (УРЗиА) являются основным элементом энергообъекта, обеспечивающим его надёжную работу.

В работе УРЗиА можно выделить следующие причины сбоев:

- неправильные действия персонала,
- неисправность УРЗиА,
- недостаточная ЭМС.

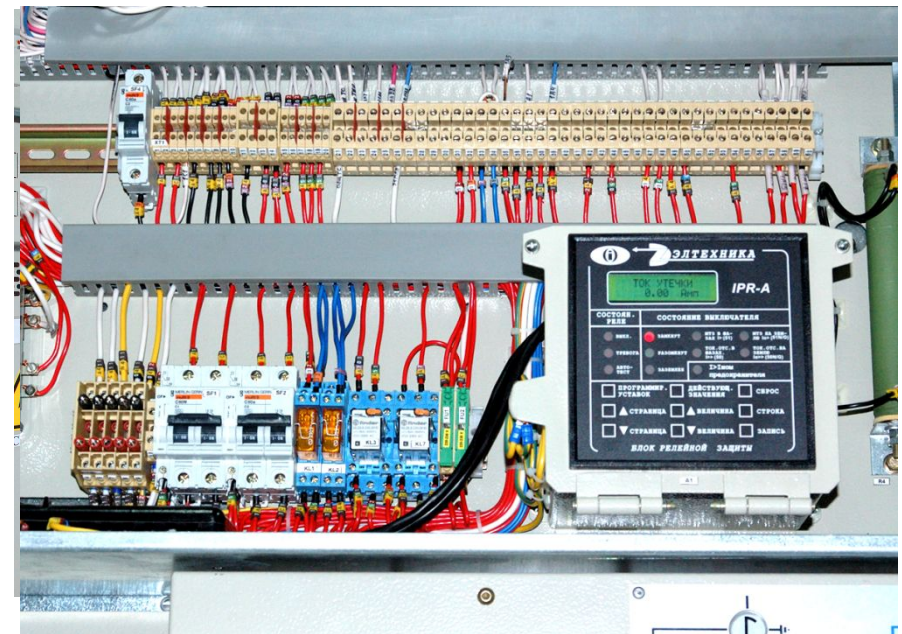
Согласно статистическим данным неправильная работа УРЗиА по причине недостаточной ЭМС составляет до 10 % от всех случаев ложной работы и касается в основном только УРЗиА на микроэлектронной (МЭ) и микропроцессорной (МП) элементной базе.

Причина этого заключается в том, что чувствительность к электромагнитным помехам УРЗиА на МЭ и МП элементной базе на несколько порядков выше, чем у их традиционных электромеханических аналогов.

Шкаф управления (фидер 10 кВ) на электромеханических



Шкаф управления (фидер 10 кВ) на основе микропроцессорного блока



Электромеханическое реле
(реле промежуточное

РП-250)

Номинальное напряжение:

24, 48, 110, 220 В

Напряжение срабатывания:

70% от $U_{ном}$

154 В при $U_{ном} = 220 В$

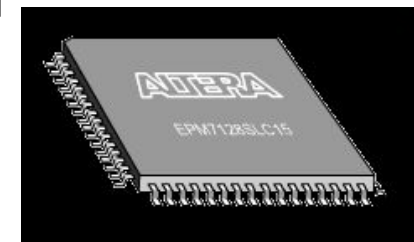
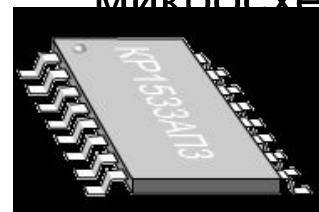
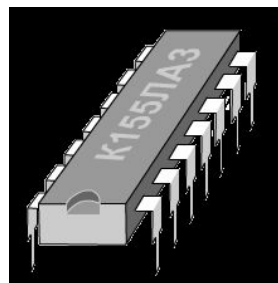
Напряжение возврата:

5% от $U_{ном}$

11 В при $U_{ном} = 220 В$



Уровни срабатывания логических
микросхем



Серия	КМОП	ТТЛ	КМОП	МК
Параметр	9 В	5 В	3,3 В	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

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

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															
Плёночные резисторы															
Светодиоды и переключающие диоды															
Транзисторы малой мощности															
Интегральные микросхемы и чувствительные элементы ЭВМ															

Для нарушения работы электромеханического реле требуется энергия 10^{-3} Дж (1 мДж), а для нарушения работы интегральных микросхем требуется 10^{-7} Дж (10^{-4} мДж).

Разница составляет 4 порядка или 10 000 раз.

Для разрушения электромеханического реле требуется энергия в 1 Дж, а для разрушения интегральных микросхем требуется энергия в 10^{-2} Дж.

Это свидетельствует о том, что электронные средства релейной защиты (МП аппаратуры) могут быть на 4 порядка чувствительнее к помехам, чем электромеханические.

Этим обусловлен рост актуальности проблемы ЭМС на объектах электроэнергетики.

Мировая и отечественная практика свидетельствует, что будущее за УРЗиА на МП элементной базе. Процесс замены электромеханических УРЗиА на МП необратим, и если не уделять внимание проблеме ЭМС, то такая замена со столь высоким процентом неправильной работы грозит обернуться катастрофой.

Следует отметить, что помехоустойчивость УРЗиА на МЭ и МП базе является одной из технических характеристик этих устройств, такой же, 16

как и все остальные ее характеристики

Примеры повреждений и неправильной работы УРЗиА из-за воздействия электромагнитных помех

№ пп	Событие	Последствия	Причины
<i>Коммутации в первичных цепях</i>			
1.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Неисправно ЗУ. Высокий уровень импульсных помех
2.	Коммутация выключателем 10 кВ на ПС с закрытым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Импульсные помехи в сети постоянного тока более 2 кВ
3.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Повреждение электронного реле	Высокий уровень импульсных помех. Низкая помехоустойчивость реле
4.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Сбой в работе автоматики контроля плотности элегаза. Заблокировано управление выключателями 110 кВ	Низкая помехоустойчивость аппаратуры
5.	Коммутация выключателем 110 кВ на ПС с открытым РУ	Ложное отключение выключателя 220 кВ	Импульсные помехи в цепях оперативного тока

Примеры повреждений и неправильной работы УРЗиА из-за воздействия электромагнитных помех

№ пп	Событие	Последствия	Причины
<i>Короткие замыкания на землю в цепях высокого напряжения</i>			
6.	КЗ на землю на шинах 110 кВ ПС с открытым РУ	Повреждение аппаратуры РЗА, коммутационных аппаратов в сети постоянного тока. Отключились 6 линий 110 кВ	Неисправно ЗУ.
7.	Ближнее КЗ на землю ПС с открытым РУ	Возгорание кабелей в кабельном канале	Перекрытие с ЗУ на цепи постоянного тока
8.	КЗ на шинах 110 кВ ПС с открытым РУ	Ложная работа РЗА Отключилась линия 500кВ	Неисправно ЗУ.
9.	КЗ на шинах ПС с закрытым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Неисправно ЗУ.
10.	КЗ на шинах ОРУ-110кВ	Ложно отключается блок генераторов на ТЭЦ	Неисправно ЗУ.

Уровень совместимости – допустимая вероятность сбоев, при которой обеспечивается заданный уровень надежности и безопасности функционирования системы, устройства.

ЭМС – способность приборов нормально работать в условиях конкретной электромагнитной обстановки (ЭМО) и электромагнитных помех (ЭМП).

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, существующих в данном месте.

Электромагнитная помеха – любое электромагнитное явление которое может ухудшить качество функционирования технического средства.

Примечания:

1. Электромагнитная помеха может быть электромагнитным шумом, нежелательным сигналом или изменением в среде распространения.

2. Техническое средство может быть компонентом, устройством, оборудованием, системой или установкой.

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.

Выдержка из инструкции по эксплуатации микропроцессорного блока релейной защиты

1.3.2.13 Блок выполняет свои функции при воздействии высокочастотных помех с параметрами, указанными в таблице 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 ± 0,1) МГц
2. Пачки импульсов	Амплитуда первого импульса	2,5 кВ
	Амплитуда импульсов	2,0 кВ
	Длительность импульса в пачке	(50 ± 15) нс.
	Длительность пачки	(15 ± 3) мс
3. Электростатический разряд	Период следования пачек	(300 ± 60) мс
	Напряжение разряда	8 кВ