

Электромагнитная совместимость в электроэнергетике

Лекция 1. Общие вопросы электромагнитной совместимости

Необходимость электромагнитной совместимости обусловлена тем, что в современном мире все больше устройств работают на электромагнитных принципах и могут взаимодействовать между собой. Если эти устройства не соответствуют стандартам электромагнитной совместимости, то это может привести к возникновению электромагнитных помех, которые могут вызвать неполадки или отказ работы устройств, а также создать опасность для безопасности окружающей среды и здоровья людей. Поэтому электромагнитная совместимость является необходимым аспектом при проектировании и эксплуатации различных электронных и электротехнических устройств.

1.1 Основные термины и определения

Таким образом, электромагнитная совместимость – это способность этих средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных помех и не создавать недопустимых помехи другим техническим средствам.

В рамках изучения дисциплины нас интересуют вопросы электромагнитной совместимости технических средств.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств согласно ГОСТ 30372-95 (ГОСТ Р 50397-92) – это способность электронной аппаратуры нормально функционировать в определённой электромагнитной обстановке (ЭМО), не создавая при этом электромагнитных помех, опасных для других технических средств или человека. [1]

Под техническим средством принято понимать изделие, оборудование, аппаратуру 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. 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). [2]

Следующим определением, которое требуется рассмотреть – это «Электромагнитная помеха». Электромагнитная помеха относится к нежелательным физическим явлениям, создаваемым источниками электрических, магнитных или электромагнитных возмущений. Электромагнитные помехи могут подразделяться на две группы: преднамеренные и непреднамеренные.

1.2 Виды электромагнитных помех

Преднамеренные электромагнитные помехи создаются с целью нарушения работоспособности, нормального функционирования и вывода из строя элементов микроэлектроники, систем связи, электротехнического оборудования и т.д. Помехи данной группы создаются с помощью специальных устройств, порождающих импульсные сигналы или высокочастотные магнитные поля. На рисунке 1.1 представлен пример преднамеренного электромагнитного воздействия.

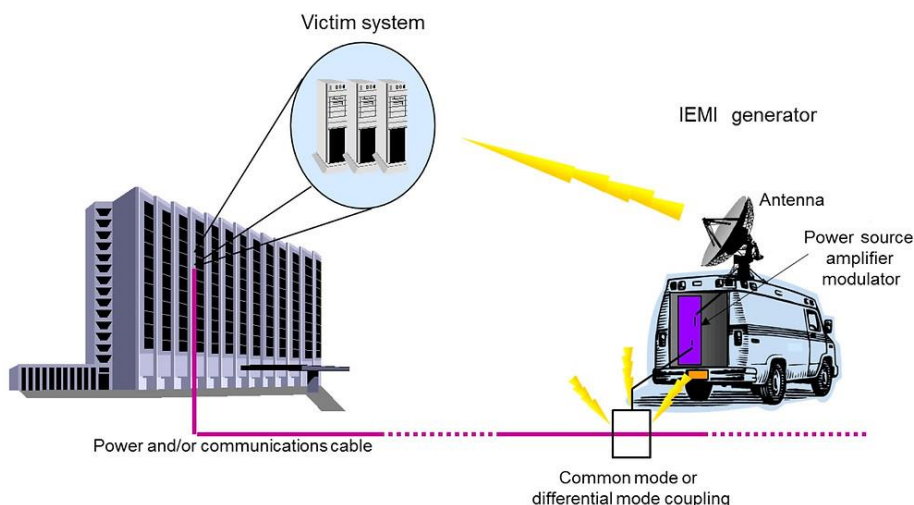


Рисунок 1.1 – Преднамеренное электромагнитное воздействие

Непреднамеренные электромагнитные помехи (НЭМП) в свою очередь можно разделить на две группы: природного (естественного) и искусственного характера. Непреднамеренные электромагнитные помехи не направлены на нарушение функционирования технического средства. Примеры источников НЭМП представлены на рисунке 1.2.

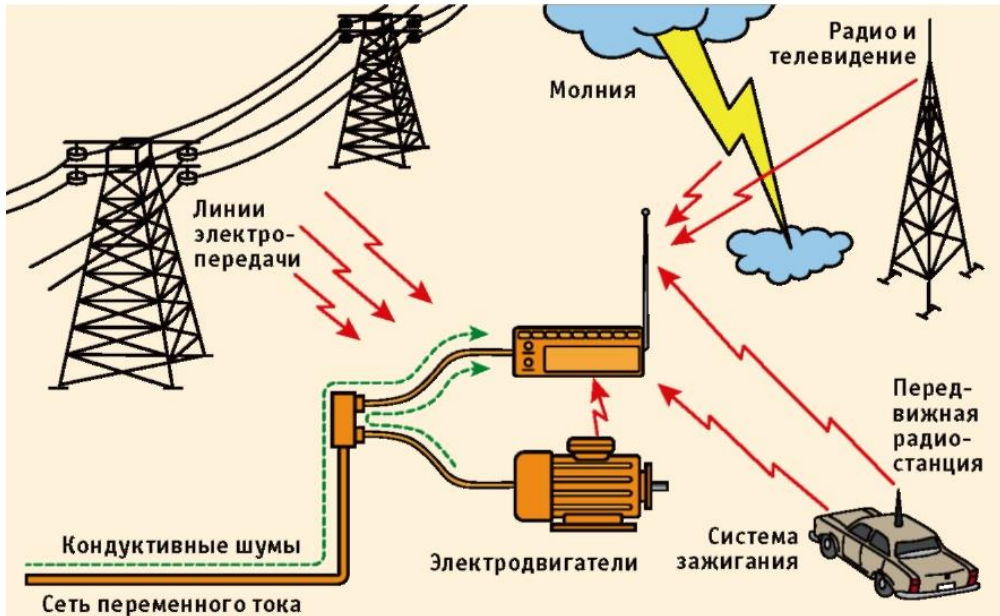


Рисунок 1.2 – Примеры НЭМП

В зависимости от степени влияния НЭМП на объект различают:

- допустимую НЭМП (при ее действии сохраняется требуемое качество функционирования технического средства);
- приемлемую (ее уровень превышает уровень допустимой помехи, однако не играет существенной роли в качестве функционирования технического средства);
- недопустимую (при ее действии качество функционирования технического средства снижается ниже требуемого). [3]

Таким образом, Электромагнитная помеха – это электромагнитное явление или процесс естественного или искусственного происхождения, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства. Электромагнитная помеха может излучаться в пространство (излучаемая)

или распространяться в проводящей среде за счет гальванических связей (кондуктивная).

Электромагнитные помехи кондуктивного вида возникают в электрических соединениях ТС либо в линиях электропитания (переменного или постоянного тока), или сигнальных линиях и линиях управления.

Кондуктивные высокочастотные электромагнитные помехи могут быть разделены на два основных вида — непрерывные колебания и аperiodические или колебательные переходные процессы.

Каждый из видов кондуктивных высокочастотных электромагнитных помех характеризуется определенным набором параметров:

- непрерывные помехи (наведенные непрерывные колебания) — амплитудой, частотой и видом модуляции наведенного напряжения (тока), а также внутренним сопротивлением источника помех;

- аperiodические и колебательные переходные процессы — длительностью фронта (скоростью нарастания), длительностью, пиковым значением, спектром, частотой возникновения, частотой колебаний (для колебательного переходного процесса) наведенного напряжения (тока), а также внутренним сопротивлением источника помех.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что основной задачей электромагнитной совместимости является обеспечение удовлетворительного функционирования электроэнергетических объектов в окружающей ЭМО, не оказывая недопустимого воздействия на нее и другие объекты.

В ЭМС различают две группы технических средств: источники и рецепторы электромагнитных помех.

К источникам электромагнитных помех относят любые средства, которые могут создавать электромагнитное излучение в целях передачи информации (радио- и телепередатчики, а также устройства испускающие электромагнитные волны для иных целей — устройства радиуправления, микроволновые печи и пр.); также могут относиться средства, излучение электромагнитных волн

которыми, не является основной задачей или не предназначенными для этого (средства зажигания автомобилей, двигатели и т.д.). Первая группа источников называется функциональными, т.е. выполняющими заданные функции, вторая группа – нефункциональные.

Как правило, выявление функциональных источников для обеспечения электромагнитной совместимости, является сравнительно легкой задачей в то время, как выявление и поиск нефункциональных источников и каналы передачи помех от них найти довольно трудно, т.к. проявляют себя такие источники неожиданной неадекватной работой системы-приемника. Можно сделать вывод, что еще одной задачей электромагнитной совместимости является выявление нефункциональных источников электромагнитных помех.

На рисунке 1.3 представлены источники помех на электрических станциях и подстанциях. Среди них можно выделить следующие: 1 – удар молнии; 2 – переключения и КЗ в сети высокого напряжения; 3 – переключения и КЗ в сети среднего напряжения; 4 – переключения и КЗ в сети низкого напряжения; 5 – внешние источники радиочастотного излучения; 6 – внутренние источники радиочастотного излучения; 7 – разряды статического электричества; 8 – источники кондуктивных помех по цепям питания.

Наиболее полная классификация электромагнитных помех представлена на рисунке 1.4. [4]

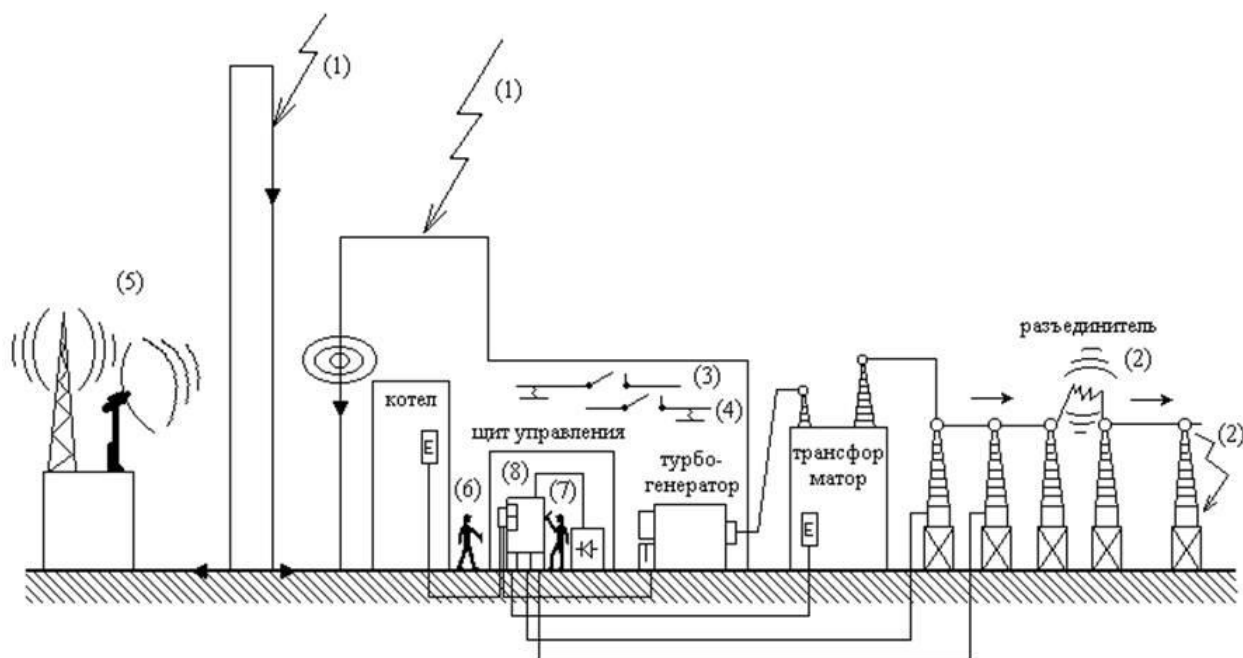


Рисунок 1.3 – Источники электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях

Рецепторы электромагнитных помех принято разделять на две группы: естественные и искусственные. К естественным рецепторам определяют все живые организмы, к искусственным относят все технические средства имеющие способность реагировать и изменять обратимо или необратимо свои параметры под воздействием электромагнитных помех и/или сигналов. Искусственные рецепторы в свою очередь можно разделить на две группы: аппаратура, предназначенная для приема сигналов (радиоэлектронные приемные устройства и радиовзрыватели), и аппаратура, принцип работы которой не основан на взаимодействии с внешними электромагнитными полями (усилители).

Следует отметить, что разделение на источники и рецепторы помех, порою бывают весьма условны, одно и тоже техническое устройство может выступать в роли и источника, и рецептора. 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. [5]

Источники непреднамеренных электромагнитных помех						
Естественные		Искусственные				
Внеземные	Земные	Радиоэлектронные	Электроэнергетическое оборудование	Оборудование и машины	Системы зажигания	Аппаратура промышленная и широкого потребления
Солнце	Атмосферные явления	Средства радиовещания	Генераторы электроэнергии	Мощные сооружения и устройства	Двигатели	Сварочные аппараты
Космические объекты	Магнитосфера Земли	Радиорелейные линии	Преобразователи	Приборы, средства оргтехники	Транспортные средства	Ультразвуковые устройства
Радиоизлучения звезд	Статические разряды	Средства навигации	Линии электропередачи	Промышленное оборудование	Станки и инструменты	Медицинское оборудование
		РЛС	Средства перераспределения электроэнергии	Конвейеры	Осветительные устройства	Системы контроля производства
		Средства радиосвязи			Бытовые электроприборы	
		Аппаратура ИСЗ				

Рисунок 1.4 – Источники непреднамеренных электромагнитных помех

Электромагнитная обстановка, в которой ТС должны функционировать без нарушений, достаточно сложна. Электромагнитные помехи имеют разную природу, различаются по частотным, спектральным и временным признакам.

С целью ее классификации установлены следующие три категории электромагнитных помех, характеризующих электромагнитную обстановку:

- низкочастотные электромагнитные помехи (кондуктивные и излучаемые) – преобладающая часть частотного спектра электромагнитной помехи лежит ниже 9 кГц.

- высокочастотные электромагнитные помехи (кондуктивные и излучаемые) – преобладающая часть частотного спектра электромагнитной помехи расположена на частотах (много) больших, чем 9 кГц. [6]

- электростатические разряды.

По спектральным характеристикам источники электромагнитных помех делятся на узкополосные и широкополосные помехи. Представлены на рисунке 1.5.

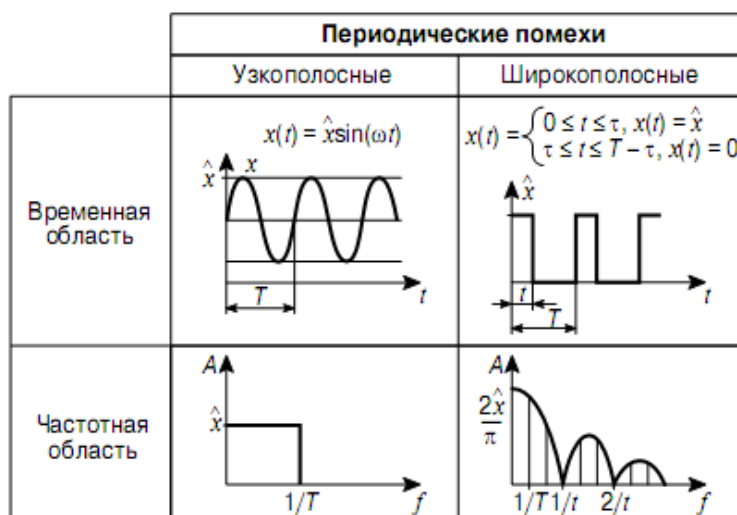


Рисунок 1.5 – Классификация электромагнитных помех по спектральным характеристикам

Узкополосными помехами считаются те, у которых энергия спектра сосредотачивается в относительно узкой полосе частот, около некоторой фиксированной частотой. Отличительной особенностью такой помехи является ее

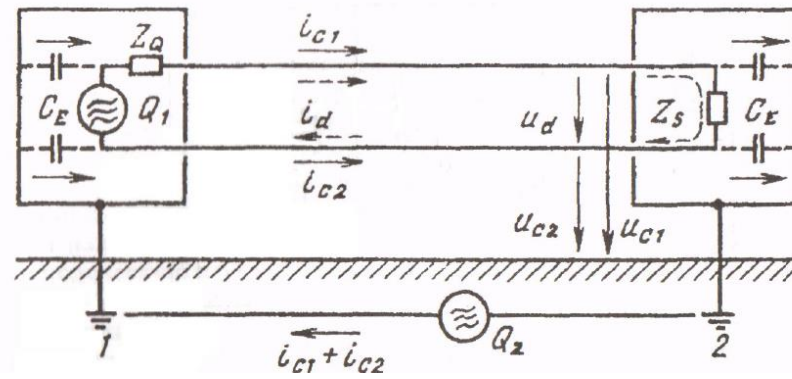
синусоидальный (или близкий к нему) характер изменения во времени. К ним относятся передатчики связи, генераторы высокой частоты, радиоприемники, приемники с кинескопами, вычислительные системы, коммутационные устройства. Классификация передатчиков связи представлена на рисунке 1.6. [7]

Передатчики связи				
Коммерческие передатчики	Радиотелефоны	Направленная радиосвязь	Навигация	Локаторы
- радио АМ - радио ЧМ - телевидение ВЧ - телевидение УКВ	- автомобильные радиотелефоны - радио СВ - любительские радиопередатчики - производственные радиотелефоны	- спутниковая радиосвязь - наземные релейные станции	- воздушное сообщение - судоходство - радиоточка - LORAN (радионавигационная система наземного базирования)	- воздушное сообщение - судоходство - транспортные локаторы - контроль за воздушным транспортом

Рисунок 1.6 – Классификация передатчиков связи

Широкополосные помехи в отличие от узкополосных не обладают ограниченной полосой частот. Такие помехи представлены отдельным импульсом или их последовательностью и являются несинусоидальными во времени. К источникам широкополосных электромагнитных полей относятся системы зажигания автомобилей, газоразрядные лампы, коллекторные двигатели, воздушные линии высокого и сверхвысокого напряжения, грозовые разряды, коммутации.

Помехи, возникающие в проводах, могут рассматриваться как противофазные или синфазные напряжения и токи. Противофазные напряжения помех (поперечные, симметричные) возникают между проводами двухпроводной линии (u_d на рисунке 1.7). Противофазные помехи возникают через гальванические или полевые связи или преобразуются из синфазных помех в системах, несимметричных относительно земли.



C_E – паразитные емкости относительно заземленного корпуса; Q_1 – источник противофазных помех; Q_2 – источник синфазных помех; Z_Q, Z_S – полные сопротивления источника и приемника помех; i_{C1}, i_{C2} – синфазные токи, i_D – противофазный ток; u_{C1}, u_{C2} – синфазные напряжения помех; u_D – противофазное напряжение помех.

Рис. 1.7 – Помехи, связанные с передачей сигналов по линии

Противофазные напряжения помех непосредственно накладываются на полезные сигналы в сигнальных цепях или на напряжение питания в цепях электроснабжения, воздействуют на линейную изоляцию между проводами и могут быть восприняты как полезные сигналы в устройствах автоматизации и тем самым вызывать ошибочное функционирование.

Синфазные напряжения помех (несимметричные, продольные напряжения) возникают между каждым проводом и землей (u_{C1} и u_{C2} на рисунке 1.7) и воздействуют на изоляцию проводов относительно земли.

Синфазные помехи обусловлены главным образом разностью потенциалов в цепях заземления устройства, например между точками 1 и 2 на рисунке 1.7, вызванной токами в земле (аварийными, при замыканиях высоковольтных линий на землю, рабочими или токами молнии) или магнитными полями.

Подводя итог к вышесказанному, можно сказать следующее:

- СФ-сигнал действует с одной и той же фазой на точки приложения сигнала относительно условного нуля или некой третьей опорной или общей точки.
- ПФ-сигнал действует с противоположной фазой (противоположным знаком) на точки приложения сигнала относительно внешней среды. Поэтому противофазный сигнал также часто называют дифференциальным.

1.3 Электромагнитная обстановка

Следующее понятие «Электромагнитная обстановка», подразумевающая совокупность электромагнитных излучений в рассматриваемом районе размещения объекта. Электромагнитная обстановка характеризуется совокупностью электромагнитных явлений, процессов, существующих в заданном пространстве, частотном и временном диапазонах.

Электромагнитную обстановку принято классифицировать по критериям МЭК 61000-2-5-2002. [6]

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.).

1.4 Качество функционирования ТС при воздействии помех

Качество функционирования технического средства при воздействии электромагнитной помехи и после ее прекращения классифицируются согласно ГОСТ 30805.14.2—2013 [8]

Изготовитель обязан представить критерии качества функционирования в терминах, которые связаны с функционированием его конкретной продукции при использовании ее по назначению.

Критерий А

В период и после прекращения воздействия помехи ТС должно продолжать функционировать в соответствии с назначением. Не допускается ухудшение качества функционирования ТС в сравнении с уровнем качества функционирования, установленным изготовителем применительно к использованию ТС в соответствии с назначением, или прекращение выполнения функции ТС. Если минимальный уровень качества функционирования ТС или допустимые потери качества функционирования не установлены изготовителем, они могут быть определены на основе анализа эксплуатационных и технических документов на ТС конкретного типа или исходя из опыта применения аналогичных ТС в соответствии с назначением.

Критерий В

После прекращения воздействия помехи ТС должно продолжать функционировать в соответствии с назначением. Не допускается ухудшение качества функционирования ТС в сравнении с уровнем качества функционирования, установленным изготовителем при использовании ТС в соответствии с назначением, или прекращение выполнения функции ТС. Допускается ухудшение качества функционирования ТС только в период воздействия помехи. При этом прекращение выполнения функции ТС или изменение данных, хранимых в памяти ТС, не допускается. Если минимальный уровень качества функционирования ТС или допустимые потери качества функционирования не установлены изготовителем, они могут быть определены на основе анализа эксплуатационных и технических

документов на ТС конкретного типа или исходя из опыта применения аналогичных ТС в соответствии с назначением.

Критерий С

Допускается временное прекращение выполнения функции ТС при условии, что функция является самовосстанавливаемой или может быть восстановлена с помощью операций управления, выполняемых пользователем в соответствии с эксплуатационными документами на ТС.

Примеры установления критериев качества функционирования испытуемого ТС, вызываемого воздействием помех, приведены в таблице 14. При этом испытания ТС на помехоустойчивость проводят при выполнении ими функций по выбору изготовителя. Ответственность за выбор функций ТС, выполняемых при испытаниях на помехоустойчивость, и обоснование допустимого ухудшения качества функционирования несет изготовитель ТС.

1.5 Способы описания и основные параметры помех. Уровни помех

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 дБ; 10:1 – 20 дБ = 2,3 Нп; 100:1 – 40 дБ = 4,6 Нп; 1000:1 – 60 дБ = 6,9 Нп; 10 000:1 – 80 дБ = 9,2 Нп; 100 000:1 – 100 дБ = 11,5 Нп; 1000 000:1 – 120 дБ = 13,8 Нп.

1.6 Способы воздействия и пути передачи электромагнитных помех [9]

В зависимости от механизма распространения между источником и приёмником (подверженными влиянию цепями и аппаратурой), ЭМП могут разделяться на ёмкостные, индуктивные и кондуктивные. При воздействии высокочастотного электромагнитного поля в данной зоне говорят еще о наведённых электромагнитных помехах.

Ёмкостными 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 и распространяющиеся по элементам электрической сети. Кондуктивные помехи в цепях, имеющих более одного проводника, принято делить на помехи «провод-земля» и «провод-провод». В первом случае («провод-земля») напряжение помехи приложено, как следует из названия, между всеми проводниками цепи и землёй. Во втором – между различными проводниками одной цепи. Рассмотрим основные пути передачи электромагнитных помех:

- Гальваническая связь (представлена на рисунке 1.8). Гальваническая или металлическая связь появляется тогда, когда два электрических контура имеют

общее сопротивление Z , будь то участок провода, сопротивление связи или двухполюсник иного вида.

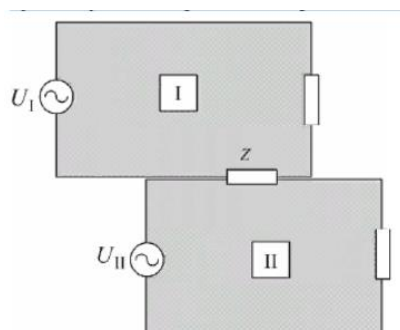


Рисунок 1.8 – Гальванический путь передачи ЭМП

- Ёмкостная связь (представлена на рисунке 1.9). Ёмкостная связь возникает между двумя контурами, проводники которых находятся под различными потенциалами.

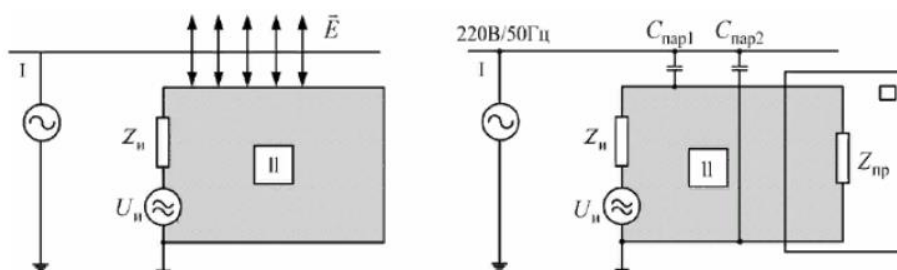


Рисунок 1.9 – Ёмкостной путь передачи ЭМП

- Магнитная связь (представлена на рисунке 1.20). Магнитная или индуктивная связь возникает между двумя или несколькими контурами тока.

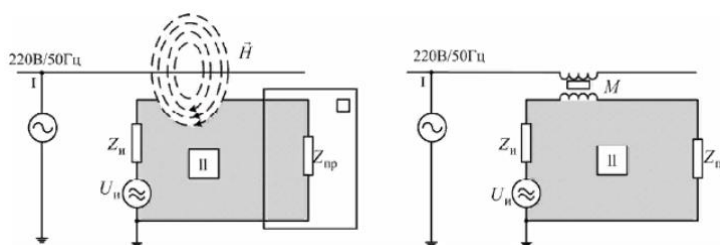


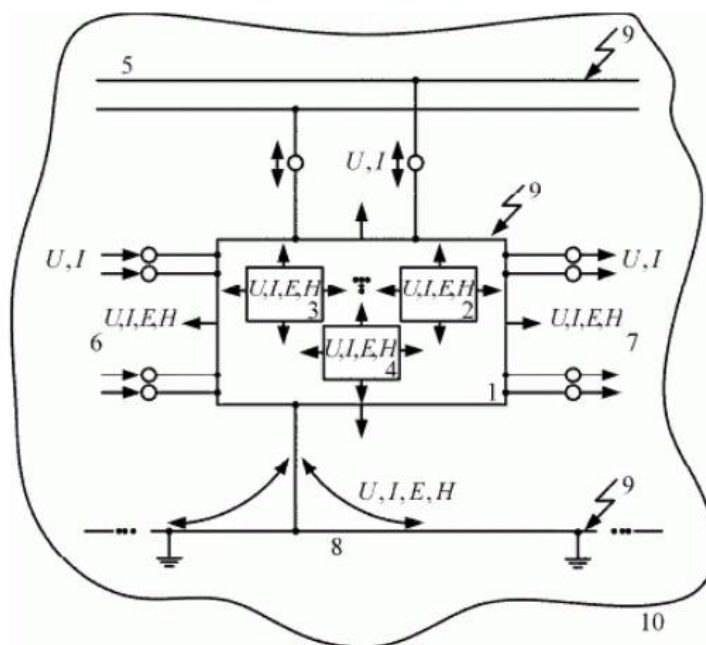
Рисунок 1.20 – Индуктивный путь передачи ЭМП

- Связь через электромагнитное излучение (представлена на рисунке 1.21). Осуществляется посредством электромагнитных волн, порождённых каким-либо передатчиком.



Рисунок 1.21 – Связь через электромагнитное излучение

Внутри прибора электромагнитные помехи могут попасть совместно с полезными сигналами или с напряжением питания по проводам (U, I), либо полем путем (\vec{E}, \vec{H}), а также через антенны. В дополнение к этим помехам, вызванным внешними источниками, могут возникнуть и внутренние помехи, распространяющиеся по проводам или в виде поля внутри системы. Не следует забывать, что прибор автоматизации может быть одновременно и чувствительным к помехам, и сам излучать помехи (рисунок 1.22).



1 – прибор автоматизации; 2, 3, 4 – элементы прибора автоматизации, внутренние источники ЭМП; 5 – сеть электропитания; 6 – информационные входы; 7 – информационные выходы; 8 – заземление; 9 – ЭМП, передающиеся по контуру заземления, разряды статического электричества, короткие замыкания в питающей сети; 10 – электромагнитная обстановка

Рисунок 1.22 – Внешние и внутренние источники помех, виды помех, поступающих в устройство и исходящих из него помех

Причинами появления внутренних помех в системе обычно являются: напряжение питания с частотой 50 Гц; изменения потенциала в сетевых проводах питания устройств электроники; изменения сигналов в проводах управления или линиях передачи данных; высокочастотные или низкочастотные тактовые сигналы; коммутационные процессы в индуктивностях, например, в герконах на печатных платах; магнитные поля ходовых механизмов с накопителями энергии; искровые разряды при замыканиях и размыканиях контактов; резонансные явления при замыкании контактов.

Кроме того, в устройствах автоматизации могут возникнуть и другие электрические факторы, которые станут причиной нарушения функционирования: это переходные сопротивления в контактах; шумы активных и пассивных элементов; дрейф параметров элементов; разброс времени коммутации в логических устройствах; исчезновения сигналов при передаче; явления отражения в линиях; вибрации и микрофонный эффект в контактах; пьезоэлектрические смещения зарядов при сжатии и изгибах изоляции; контактные напряжения; схемотехнические и термоэлектрические эффекты в точках соединения проводников из различных материалов (например, каждое место спайки, скрутки или резьбовое соединение двух различных материалов представляет собой термоэлемент, термонапряжение которого изменяется примерно до 40 мкВ при изменении температуры на 1°C). Эти возможные паразитные эффекты необходимо учитывать при разработке и изготовлении электронных средств автоматизации и соответствующими мерами, например подавлением, нужно ограничить их влияние.

1.7 Мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости

Различают организационные и технические мероприятия.

К организационным мероприятиям относятся:

- оценка радиоэлектронной обстановки (т.е. оценка состава и условий использования радиоэлектронных средств в данном районе или на объекте в данное время);

- рациональное распределение и назначение частот для средств связи, размещенных в одном объекте (КШМ, аппаратной);
- регламентация работы радиоэлектронных средств во времени;
- выявление и устранение источников взаимных помех;
- использование рельефа местности для снижения эффективности мешающих излучений;
- правильный выбор, размещение и ориентирование антенн;
- постоянный контроль за поддержанием в норме технических характеристик средств связи.

К техническим мероприятиям относятся:

- правильный выбор рабочего диапазона частот вновь разрабатываемых радиоэлектронных средств;
- стандартизация и нормирование технических характеристик радиоэлектронных средств;
- разработка устройств, которые повышают устойчивость работы радиоэлектронных средств при воздействии взаимных помех;
- разработка адаптивных систем связи.

Список использованной в лекции литературы:

1. ГОСТ 30372-95 (ГОСТ Р 50397-92) Межгосударственный стандарт. Совместимость электротехнических средств электромагнитная. Термины и определения. // Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск.

2. ГОСТ 30372-95 «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения» - п. 1 Приложения 1

3. Кочин, Л.Б. Неумышленные помехи и электромагнитная совместимость: учебное пособие / Л.Б. Кочин, В.В. Смирнов, С.Ю. Страхов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2018 – 110 с. ISBN 978-5-906920-97-3

4. Ефанов В.И., Тихомиров А.А. Электромагнитная совместимость радио-электронных средств и систем. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с. ISBN 5- 86889-188-0

5. Тимиргазин, Рустем Фидусович, Электромагнитная совместимость : учебное пособие / Р. Ф. Тимиргазин; Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 48 с. ISBN 978-5-9795-1649-3

6. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) Государственный Стандарт Российской Федерации «Совместимость технических средств электромагнитная». Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств.

7. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.

8. ГОСТ 30805.14.2 – 2013 (CISPR 14-2:2001) Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Бытовые приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства. Устойчивость к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний.

9. Коржов, А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / А.В. Коржов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007 – 70 с. ISBN 978-5-696-03812-4