

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ЧитГУ)

Д.А. Дейс

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Учебное пособие

для студентов направления подготовки 140200 – «Электроэнергетика»

Чита 2008

УДК: 621.3 (075)

ББК

С

ISBN

Дейс, Д.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие / Д.А. Дейс. – Чита, ЧитГУ, 2008. – 171 с.

Ил. 34

Табл. 16

Библ. наим. 13

Изложены основные теоретические вопросы, изучаемые в соответствии с рабочей программой курса «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» студентами специальности 140211 - «Электроснабжение».

В состав данной работы включены разделы: Основные вопросы ЭМС, классификация и описание помех, механизмы связи, электромагнитная обстановка на энергетических и промышленных объектах, качество электрической энергии и стандартизация в области ЭМС.

Утверждено и рекомендовано к изданию решением редакционно-издательского совета ЧитГУ.

Рецензенты:

- 1) канд. техн. н., доцент Ю.Р. Шойванов
- 2) канд. техн. н., доцент, зав. кафедрой электроснабжения ЗАБИЖТ С.А. Филиппов.

Ответственный за выпуск И.Ф. Суворов, д. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения

© Читинский государственный университет, 2008

© Дейс Д.А.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ	8
1.1. Основные понятия ЭМС	8
1.2. Механизм электромагнитного излучения	11
1.3. Источники помех, пути и механизмы их передачи.....	16
1.4. Противофазные и синфазные помехи.....	19
1.5. Логарифмические относительные характеристики.....	20
1.6. Уровни и интервалы помех.....	22
2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПИСАНИЕ ПОМЕХ	25
2.1. Описание помех в частотной области	26
2.2. Классификация источников помех	29
2.4. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды	31
2.4.1. Класс 1 мест размещения технических средств.....	33
2.4.2. Класс 2 мест размещения технических средств.....	36
2.4.3. Класс 3 мест размещения технических средств.....	38
2.4.4. Класс 4 мест размещения технических средств.....	41
2.4.5. Класс 5 мест размещения технических средств.....	44
2.4.6. Класс 6 мест размещения технических средств.....	48
2.4.7. Класс 7 мест размещения технических средств.....	51
2.4.8. Класс 8 мест размещения технических средств.....	53
3. МЕХАНИЗМЫ СВЯЗИ	57
3.1. Гальваническая связь и способы ее ослабления.....	57
3.2. Емкостная связь и способы ее ослабления.....	60

3.3. Индуктивная связь и способы ее ослабления	63
3.4. Электромагнитное излучение.....	69
4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ	74
4.1. Особенности ЭМО на энергетических и промышленных объектах .	74
4.2. Контроль ЭМО	81
4.3. Улучшение ЭМО.....	85
5. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	88
5.1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.....	88
5.1.1. Отклонение напряжения.....	92
5.1.2. Колебания напряжения	95
5.1.3. Несинусоидальность напряжения.....	99
5.1.4. Несимметрия напряжения	102
5.1.5. Отклонение частоты.....	106
5.1.6. Провал напряжения.....	108
5.1.7. Импульс напряжения	110
5.1.8. Временное перенапряжение	112
5.2. Процессы и явления в электрических сетях, вызывающие нарушение показателей качества электрической энергии	113
5.2.1. Причины отклонения частоты в энергосистеме.....	115
5.2.2. Причины отклонения напряжения.....	116
5.2.3. Источники колебания напряжения	117
5.2.4. Источники искажения синусоидальности кривой напряжения	118
5.2.4. Источники несимметрии напряжений	121

5.3. Влияние качества электрической энергии на работу электроприемников и аппаратов. Способы и технические средства повышения качества электрической энергии.	123
5.3.1. Влияние установившихся отклонений напряжения	123
5.3.2. Влияние размахов изменения напряжения	126
5.3.3. Влияние несинусоидальности напряжения	126
5.3.4. Влияние несимметрии напряжения	128
5.3.5. Влияние отклонения частоты.....	130
5.4. Управление качеством электрической энергии.....	132
6. РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ	136
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	169

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) далеко не новы. Они возникли в процессе развития радиосвязи и первоначально трактовались как поиск средств борьбы с помехами радиоприему. В последние десятилетия XX века резко возросла насыщенность производственной сферы деятельности и быта человека приборами и технологиями, базирующимися на достижениях электротехники и радиотехники. Современный человек просто не представляет жизни без радиоприемника, телевизора, телефона и других информационных средств. Стало привычным использование высокотехнологичного промышленного оборудования, систем телекоммуникаций и информатизации. Многочисленные электротехнические и электронные приборы (микроволновые печи, холодильники, обогреватели, пылесосы и т.п.) становятся принадлежностью повседневного быта. Всё шире их номенклатура, всё сложнее и дороже техническое исполнение, всё чаще одни технические средства создают помехи другим. Причем, по мере развития электроники чувствительность, а значит восприимчивость к различного рода помехам, повышается. Одновременно с этим непрерывно растет уровень и частотный диапазон внешних индустриальных помех. Всё это с каждым годом обостряет проблему электромагнитной совместимости. В индустриально развитых странах она решается путем государственного регулирования. Вмешательство государства объясняется тем, что, во-первых, выполнение требований ЭМС стало такой же очевидной проблемой, как сохранение экологии. Вторая причина чисто прагматическая – соблюдение соответствующих норм и требований ЭМС изделия для производителя зачастую экономически невыгодно, поскольку предполагает дополнительные затраты, которые иногда соизмеримы с затратами на разработку изделия.

Загрязнение окружающей среды электромагнитными помехами представляет опасность, как для технических средств, так и для биологических объектов. Поэтому обеспечение требований ЭМС непосредственно связано с качеством изделия, охраной окружающей среды, с безопасностью жизни и сохранением здоровья человека и его имущества.

Цель дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» состоит в том, чтобы дать студентам достаточно полное представление об электромагнитной обстановке на объектах электроэнергетики; источниках и способах передачи помех; помехоустойчивости; методах испытаний и сертификации элементов электрических сетей; о Законе РФ об электромагнитной совместимости. Основными задачами дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» является знакомство студентов с естественными и антропогенными источниками электромагнитных излучений и помех, физическими процессами формирования электромагнитного поля в окружающей среде, понятиями и физическими основами энергетического и информационного воздействия электромагнитных излучений на живые организмы и технические средства, влиянием качества электрической энергии на работу электроприемников. В результате изучения дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» специалист должен знать: механизмы возникновения и передачи электромагнитных влияний, способы защиты технических средств от помех, показатели качества электрической энергии и способы их обеспечения.

1. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

1.1. Основные понятия ЭМС

Электромагнитная совместимость является современным понятием, объединяющим такие известные электромагнитные явления, как радиопомехи, влияние на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные явления, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т.д. Согласно ГОСТ Р 50397-92 [4] **ЭМС технических средств** это *«способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам»*. При этом под электромагнитной обстановкой (ЭМО) понимается *«совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах»*.

Под **техническим средством (ТС)** следует понимать изделие, оборудование, аппаратуру или их составные части, функционирование которых основано на законах электротехники, радиотехники и (или) электроники, содержащие электронные компоненты или схемы, выполняющих одну или несколько функций: усиление, генерирование, преобразование, переключение и запоминание.

Основополагающими в теории электромагнитной совместимости являются понятия помехи, а также понятия источников и приемников помех.

Электромагнитная помеха – электромагнитное явление, процесс, который снижает или может снизить качество функционирования технического средства. Помеха может быть естественной или искусственной.

Естественная помеха – Электромагнитная помеха, источником ко-

торой являются природные физические явления.

Искусственная помеха – электромагнитная помеха, источником которой является устройство, созданное человеком.

Кроме того, следует дать определения следующим понятиям:

атмосферная помеха: естественная помеха, источником которой являются электрические разряды в атмосфере;

космическая помеха: естественная помеха, источником которой является излучение Солнца, звезд и галактики;

электростатическая помеха: естественная помеха, обусловленная электризацией и проявляющаяся вследствие импульсных токов стекания накопленных электрических зарядов и (или) электростатических разрядов (ЭСР);

излучаемая помеха: электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве;

кондуктивная помеха: электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводам;

индустриальная помеха: электромагнитная помеха, создаваемая техническими средствами;

коммутационная помеха: индустриальная помеха, возникающая при процессах коммутации тока и напряжения;

контактная помеха: электромагнитная помеха, обусловленная излучением токопроводящих контактов и (или) среды с нелинейной проводимостью при воздействии на них электромагнитного поля;

электромагнитный импульс (ЭМИ): изменение уровня электромагнитной помехи в течение времени, соизмеримого со временем установления переходного процесса в техническом средстве, на которое это изменение воздействует;

импульсная помеха: электромагнитная помеха в виде одиночного импульса, последовательности или пачки импульсов;

шумовая помеха: электромагнитная помеха, источником которой является электромагнитный шум;

непрерывная помеха: электромагнитная помеха, уровень которой не уменьшается ниже определенного значения в регламентированном интервале времени;

регулярная помеха: электромагнитная помеха, возникающая и исчезающая через определенные промежутки времени;

нерегулярная помеха: электромагнитная помеха, возникающая и исчезающая через различные случайные промежутки времени;

узкополосная помеха: электромагнитная помеха, ширина спектра которой меньше или равна полосе пропускания рецептора;

широкополосная помеха: электромагнитная помеха, ширина спектра которой больше полосы пропускания рецептора.

Источник помехи – источник искусственного или естественного происхождения, который создает или может создать электромагнитную помеху.

На объектах электроэнергетики источниками электромагнитных помех являются:

- переходные процессы в цепях высокого и низкого напряжения;
- электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций (ПС);
- переходные процессы в заземляющих устройствах (ЗУ), обусловленных короткими замыканиями (КЗ) или токами молний;
- переходные процессы в цепях различных классах напряжения при ударах молнии в объект или вблизи него;

- разряды статического электричества;
- электромагнитные возмущения во вторичных цепях;
- электромагнитные импульсы ядерных взрывов;
- магнитное поле Земли при аномальных явлениях на поверхности Солнца.

Приемник помехи – электрическое устройство (или его составная часть) чувствительное к воздействию электромагнитной помехи.

К приемникам электромагнитных воздействий относятся теле- и радиоприемники, силовые электроприемники, системы автоматизации, автомобильная микроэлектроника, управляющие приборы и регуляторы, средства релейной защиты и автоматики (РЗА), устройства обработки информации и т.д. Многие электрические устройства могут одновременно действовать как приемники и как передатчики.

Таким образом, электрическое устройство считается совместимым, если оно является источником электромагнитных помех, но не выше допустимых, и обладает достаточной помехоустойчивостью к внешним электромагнитным воздействиям.

1.2. Механизм электромагнитного излучения

Ясное представление механизма электромагнитного излучения, создаваемого при работе электронных систем, необходимо для понимания проблем ЭМС. При проектировании систем, удовлетворяющих требованиям ЭМС, необходимо отчетливо представлять, какие цепи систем могут создавать электромагнитные излучения и паразитные электромагнитные поля и помехи, характеристики этих полей и почему одни схемы создают только реактивные поля, а другие излучают электромагнитные поля.

В качестве простого примера рассмотрим цепь (рис. 1.а), состоящую только из источника переменного напряжения и идеальной индуктивности. В этом случае потери энергии в цепи будут отсутствовать, и в индуктивности будет создаваться только электромагнитное поле. Переменный источник напряжения будет попеременно либо передавать энергию в электромагнитное поле, создаваемое индуктивностью, либо принимать эту энергию обратно. Ток и напряжение в этой цепи сдвинуты по фазе на $\pi/2$. Такие поля, создаваемые в реактивных элементах, называют *реактивными полями*. Если теперь вблизи индуктивности, создающей поле, расположить замкнутую цепь, состоящую из индуктивности и резистора (рис. 1.б), то вследствие индуктивной связи между двумя индуктивностями в резисторе образуется ток.

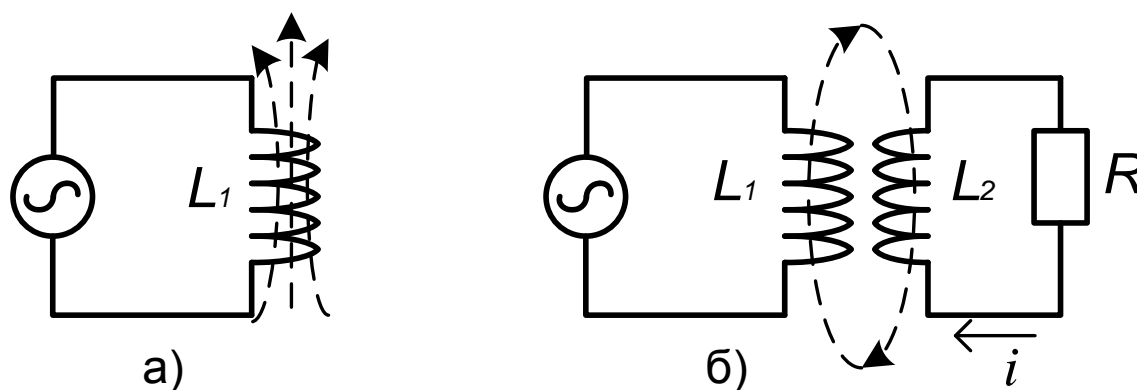


Рис. 1. Реактивное поле катушки индуктивности

Реактивное поле начнет передавать энергию от источника в резистор, даже если первая цепь осталась идеальной (без потерь энергии). Это означает, что реактивное поле может не только накапливать энергию, но передавать ее в зависимости от того, есть ли вблизи этого поля какие-либо магнитные или электронные приборы. Таким образом, реактивное поле взаимодействует с приборами, помещенными в это поле.

Все сказанное выше можно отнести и схемам, содержащим емкости (рис. 2). Здесь ток смещения, создаваемый во втором конденсаторе с помощью первого конденсатора, может протекать через подключенную к этому второму конденсатору нагрузку и отдавать в нее энергию электромагнитного поля источника (рис. 2.б).

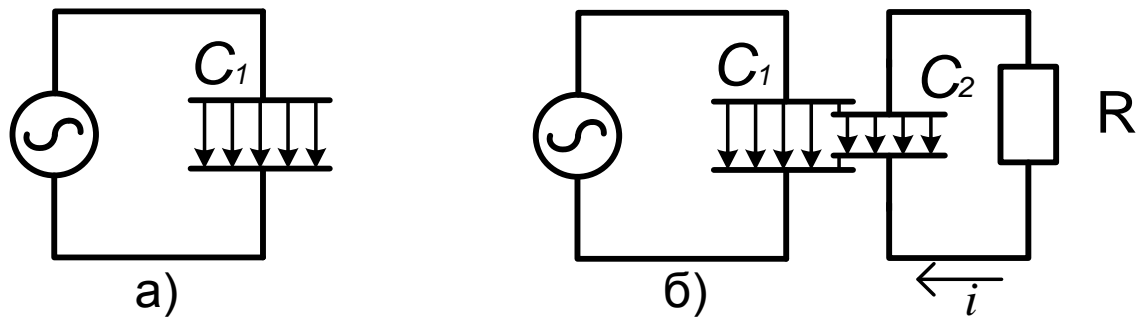


Рис. 2. Реактивное поле емкости

Рассмотрим другой пример. Пусть источник переменного напряжения питает идеальную антенну. И пусть размеры этой антенны порядка $\lambda/2$. В отличие от первого примера, энергия источника через антенну будет непрерывно излучаться в окружающее пространство, т.е. будут иметь место потери энергии.

Эти примеры являются наглядным свидетельством существования двух типов полей - *реактивных полей и полей излучения*. Однако они не дают объяснения, как создается электромагнитное излучение. Чтобы понять это, рассмотрим поля, создаваемые заряженными частицами, движущимися с ускорением.

Простейшим источником электромагнитного поля является точечный заряд. Если он покоится, то тока нет, и излучение отсутствует (что вытекает из того, что $H=0$, а, следовательно, обращается в нуль и поток энергии). Равномерно движущийся заряд также не излучает – всегда можно

выбрать такую инерциальную систему отсчета, в которой заряд покоится и излучение отсутствует. Таким образом, излучает только ускоренно движущийся заряд.

Рассмотрим механизм образования электромагнитного излучения, созданного ускоренно движущимся зарядом. В качестве заряда возьмем электрон. Нам неизвестна детальная структура электрона, но для наших целей это несущественно. Мы примем, что электрон является шаром, по поверхности которого равномерно распределен его заряд. Напомним, что неподвижный заряд создает стационарное кулоновское поле. Силовые линии этого поля электрона радиально симметричны.

Кулоновское поле существует всегда, независимо от того, движется электрон или нет. Если электрон совершает колебания, то возникают еще два новых поля. При движении электрона возникает магнитное поле. Колеблющийся электрон создает вокруг себя переменное магнитное поле. В непосредственной близости от электрона фаза переменного магнитного поля совпадает с фазой скорости электрона, а по мере удаления от электрона фаза поля будет отставать от фазы его скорости. На расстоянии в одну длину волны фазовый сдвиг между ними составит 360° .

Второе поле, которое создается колеблющимся электроном, является электрическим полем. Однако в отличие от стационарного кулоновского поля, созданного неподвижным зарядом, это поле является динамическим электрическим полем.

Рассмотрим движение заряженной частицы со скоростью много меньшей скорости света. Движение частицы сопровождается мгновенным появлением поля в той точке, где находится в данный момент частица совершенно аналогично статическому случаю. Следует добавить к этому, что при движении частицы возникает и магнитное поле, по форме напоми-

нающее цилиндр. Появление магнитного поля есть следствие уравнений Максвелла, согласно которым меняющееся электрическое поле вызывает появление магнитного поля и наоборот. Если мы имеем дело с движением с постоянной скоростью только одного заряда, то возникающие электрическое и магнитное поля только запасают энергию. Но если в пространстве присутствуют другие заряды, то они будут взаимодействовать между собой, и будет происходить передача энергии. Чтобы упростить объяснение возникающих явлений в дальнейшем исключим из рассмотрения магнитное поле.

Когда заряд начинает двигаться с ускорением, то силовые линии электрического поля начинают искривляться. Искривление силовых линий объясняется теорией относительности Эйнштейна. Ни энергия, ни информация не может быть передана со скоростью, большей скорости света. Это справедливо и для распространения полей и материальных частиц. В квантовой механике поле рассматривается как группа виртуальных частиц. И если, например, в какой-то момент в некой точке пространства образуется заряженная частица, то поле во всем пространстве вокруг этого заряда в тот же момент времени не образуется. Это поле в момент образования заряда создается только в непосредственной близости от него, и затем будет распространяться по всем направлениям от заряда со скоростью света. Так, свет от Солнца до Земли доходит только через 8 минут.

Искривление силовых линий заряда, движущегося с меняющейся скоростью, сопровождается излучением энергии. Больше того, величина искривления соответствует энергии излучения. Но если в какой-либо системе координат силовые линии поля не искривлены, то закон сохранения энергии требует, чтобы во всех других инерциальных системах отсчета силовые линии оставались прямыми.

Таким образом, электрон во время ускорения, создает возмущение в электрическом поле, которое будет распространяться вдаль от электрона. При этом, возмущение поля проявляется в образовании поперечной компоненты электрического поля – поля излучения. Колеблющийся электрон будет создавать непрерывную серию таких возмущений, вызванных последовательными периодами ускорения и замедления электрона.

1.3. Источники помех, пути и механизмы их передачи

Совокупность уровней помех на конкретном объекте называется **электромагнитной обстановкой (ЭМО)**. ЭМО, в которой работают электрические устройства, обусловлена наличием большого числа отдельных источников помех.

К примеру, вокруг проводов линии передач электрической энергии (ЛЭП) переменного тока, возникает переменное электромагнитное поле, которое создает во всех смежных сооружениях, находящихся в этом поле (другие линии электропередачи, воздушные и кабельные линии связи, металлические трубопроводы, заборы и др.), электродвижущие силы (ЭДС) и, как следствие, токи. Эти ЭДС и токи могут производить опасные и мешающие влияния, то есть создавать условия работы электрического и другого оборудования, несовместимые с техническими требованиями и правилами техники безопасности. Включения электродвигателей, нагревателей, батарей конденсаторов, различных нагрузок и цепей в электроэнергетической системе (ЭЭС) приводят к возникновению импульсов, наложенных на синусоиду рабочего напряжения. И таких примеров можно привести множество [11].

При этом одни технические средства являются источниками помех,

которые распространяются в пространстве и времени при помощи различных механизмов связи, распространяя свое действие на другие технические средства, являющиеся приемниками помех.

Таким образом, **механизм связи** - физический принцип передачи энергии электромагнитных процессов от источника к приемнику помех. На рис. 3 дано представление о принципиально возможных механизмах связи.

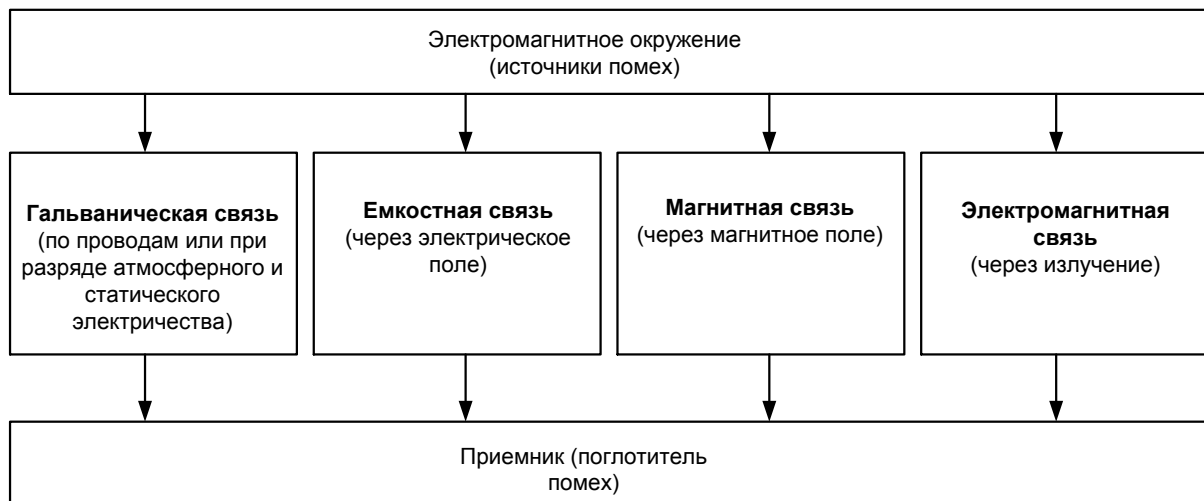


Рис. 3. Механизмы связи источников и приемников помех

Гальваническая связь осуществляется через ток или напряжение. Связи через электрическое поле и через магнитное поле относятся к квазистатическому диапазону, когда электрическое и магнитное поля независимы друг от друга. Связь через излучение возникает, если приемник находится в дальнем поле, а электрическое и магнитное поля возникают одновременно и связаны между собой. В этом случае между напряженностями электрического и магнитного поля существует строгое соотношение: $E / H = 377 \text{ Ом}$.

Помимо механизмов различают *пути связи*. Помехи могут проникать в устройство или, наоборот, передаваться в окружающую среду различными путями (рис. 4):

- в виде гальванической связи через сеть электроснабжения, информационные входы и выходы, через систему заземления, через разряды атмосферного и статического электричества;
- в виде емкостной, магнитной и электромагнитной связей через поля в окружающем пространстве.

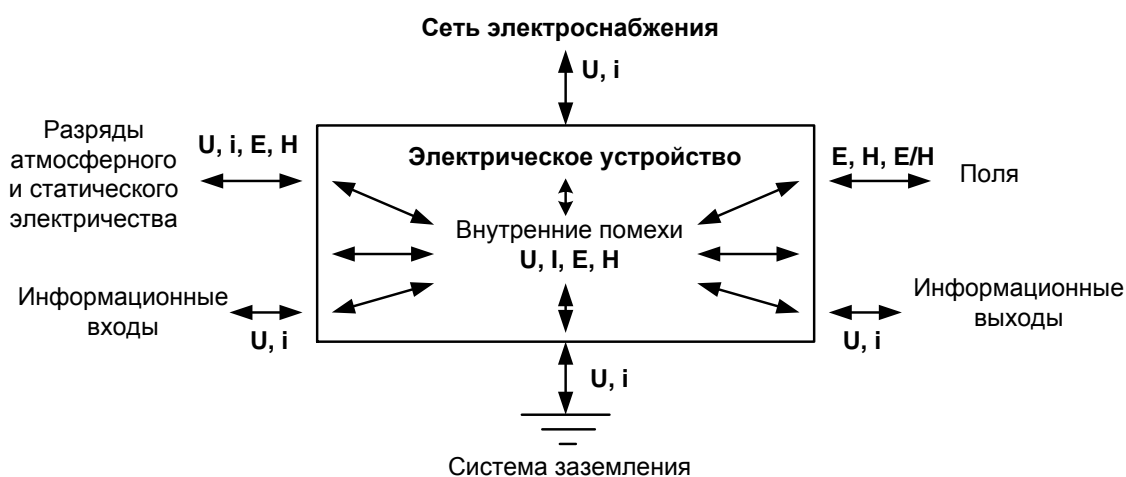


Рис. 4. Пути передачи помех

U, i – ток и напряжение (гальваническая связь);

$E, H, E/H$ – электрическое, магнитное и электромагнитное поля.

На практике в большинстве случаев действуют одновременно несколько путей связи, и один путь может содержать несколько механизмов связи, что существенно затрудняет правильное объяснение появления помех.

1.4. Противофазные и синфазные помехи

Помехи, возникающие в проводах, могут рассматриваться как синфазные и противофазные напряжения и токи.

Противофазные (поперечные, симметричные) помехи возникают между проводами двухпроводной линии или между входными зажимами электрических устройств (рис. 5.а). Противофазные помехи возникают через гальванические или полевые связи или вследствие преобразования синфазной помехи в противофазную. Противофазные помехи суммируются с полезным сигналом и могут вызвать ошибочное функционирование систем, а также они воздействуют на линейную изоляцию между проводами.

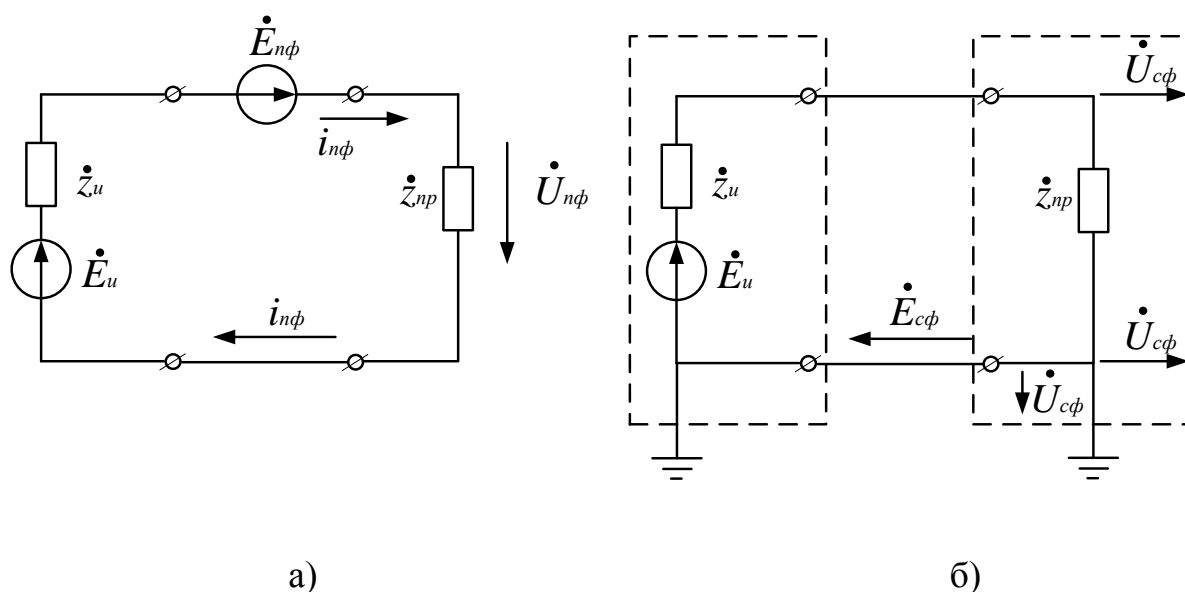


Рис. 5. Помехи, связанные с передачей сигналов по линии

- а) противофазная помеха
- б) синфазная помеха

Синфазные (продольные) помехи возникают между каждым проводом и землей. Синфазные помехи обусловлены разностью потенциалов в

цепях заземления устройств (рис. 5.б). Синфазные помехи могут быть вызваны токами в земле (аварийные токи или токи молнии) или магнитными полями. Синфазные помехи не вызывают мешающих напряжений на приемнике, но воздействуют на изоляцию проводов относительно земли и могут вести к пробоям.

При высокой частоте синфазной помехи или при больших значениях емкости проводников относительно земли происходит преобразование синфазной помехи в противофазную. Синфазное напряжение вызывает в прямом и обратном проводе токи, которые через емкость и землю возвращаются к источнику питания. При разных значениях сопротивлений прямого и обратного проводов и разных паразитных емкостях, через емкости протекают различные по значению токи, которые создают падение напряжения на сопротивлении приемника, и происходит частичное или полное преобразование синфазной помехи в противофазную.

1.5. Логарифмические относительные характеристики

Для количественной оценки ЭМС используют логарифмические масштабы физических величин, что позволяет легко представить соотношения величин, отличающихся на несколько порядков.

Различают два вида логарифмических характеристик - уровень и степень передачи.

Уровень - десятичный логарифм отношения величины к постоянному базовому значению в децибелах (дБ).

Различают следующие уровни:

- напряжения

$$U_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_x}{U_0} \right), \text{ дБ при } U_0 = 1 \text{ мкВ} \quad (1)$$

- тока

$$i_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{I_x}{I_0} \right), \text{ дБ при } I_0 = 1 \text{ мкА} \quad (2)$$

-напряженности электрического поля

$$E_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_x}{E_0} \right), \text{ дБ при } E_0 = 1 \text{ мкВ/м} \quad (3)$$

- напряженности магнитного поля

$$H_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{H_x}{H_0} \right), \text{ дБ при } H_0 = 1 \text{ мкА/м} \quad (4)$$

- мощности

$$P_{\text{дБ}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_x}{P_0} \right), \text{ дБ при } P_0 = 1 \text{ пВт} \quad (5)$$

Чтобы уровни мощности и тока или напряжения для конкретного сигнала были сравнимы в выражении (5), для $P_{\text{дБ}}$ используется коэффициент 10, а не 20, так как мощность пропорциональна квадрату тока и напряжения. Так, например, уровень 20дБ соответствует отношению напряжения 10:1 и отношению мощности 100:1.

Степень передачи - логарифм отношения входных и выходных величин. Например, коэффициенты затухания или ослабления.

Коэффициент затухания, вносимого фильтром,- это логарифм отношения напряжений на входе U_1 и выходе U_2 фильтра:

$$\alpha_{\phi} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right). \quad (6)$$

Коэффициент экранирования напряженности поля определяется отношением напряженности поля перед экраном H_1 и за ним H_2 :

$$\alpha_{\varepsilon} = 20 \cdot \lg \left(\frac{H_1}{H_2} \right). \quad (7)$$

Коэффициент синфазно-противофазного затухания определяется

как логарифм обратной величины коэффициента преобразования синфазной помехи в противофазную.

$$K_{сф,пф} = 20 \cdot \lg \left(\frac{\left| \dot{U}_{сф} \right|}{\left| \dot{U}_{пф} \right|} \right). \quad (8)$$

1.6. Уровни и интервалы помех

В электромагнитной совместимости различают абсолютный и относительный уровни помех. Абсолютные уровни определяются в децибелах (дБ) к определенной базовой величине (например, микровольты (мкВ)), относительные уровни определяются как разности абсолютных уровней.

К абсолютным уровням отнесены:

- *уровень помех* - относительное значение помехи.
- *пороговое значение помехи* — наименьшее относительное значение полезного сигнала, превышение которого воспринимается как помеха.
- *уровень полезного сигнала* — относительное 100%-ное значение полезного сигнала.

Относительные уровни:

- *интервал помех* - разность между уровнями полезного сигнала и порогового значения помехи.
- *интервал допустимых помех* - разность между пороговым значением помехи и значением помехи (уровнем помех), вычисляемая как логарифм отношения порогового и действующего значения помех.

Приведенные определения поясняет рис. 6.

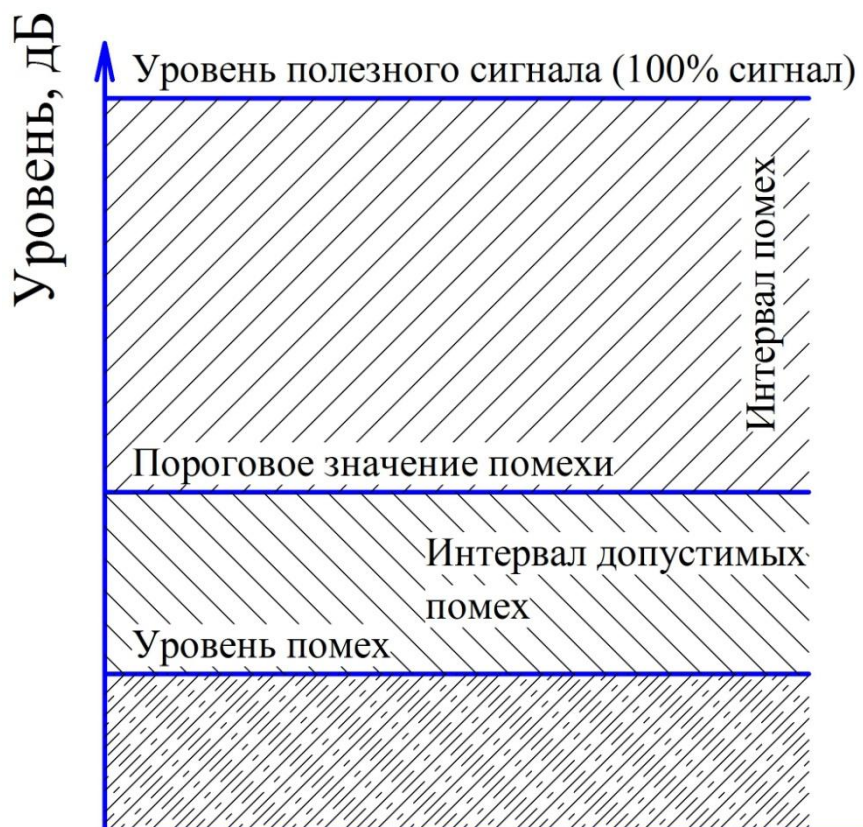


Рис. 6. Уровни и интервалы помех

Для аналоговых сигналов, например, для сигналов телевидения и радио, часто довольствуются интервалом помех, большим или равным 40дБ (тогда погрешности остаются в пределах 1%).

В противоположность аналоговым системам обработки сигналов, в которых определение порогового значения помехи в соответствии с требованиями к качеству может являться предметом договоренности, цифровые системы отличаются тем, что их работа при значении помех ниже порогового вообще не нарушается, а выше порогового значения нарушается наверняка [1, 3].

Пороговое значение помехи (или интервал помех) характеризует помехоустойчивость устройства, при превышении которого нарушается его функционирование. Ясно, что уровни помехоустойчивости отдельных

приборов даже одного типа различаются и подчиняются статистическим закономерностям. Помехи также подчинены статистическим закономерностям, поэтому соблюдение абсолютной ЭМС невыполнимо. На практике за *уровень совместимости* принимают уровень, располагающийся между максимумами плотности вероятности помехоустойчивости и помех, чтобы этот уровень с вероятностью 95% не был превзойден, и чтобы помехоустойчивость прибора принципиально была выше этого уровня.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПИСАНИЕ ПОМЕХ

Помехи можно представить и описать как во временной, так и в частотной области. Однако, обычно не так важно точное описание формы помехи, как ее точные параметры, от которых зависит ее мешающее воздействие.

Для периодических помех такими являются:

- частота f ;
- амплитуда X_{max} .

Для непериодических помех важнейшими параметрами являются следующие:

- скорость изменения $\Delta x / \Delta t$ (скорость нарастания или спада);
- интервал времени Δt , в течение которого помеха x имеет максимальную скорость изменения амплитуды;
- максимальное значение изменения амплитуды Δx .

Для взаимосвязанного представления этих величин с точки зрения электромагнитной совместимости используют при периодических помехах амплитудный спектр, а для импульсных помех – т.н. спектр амплитудной плотности. Оба этих представления обеспечивают:

- оценку воздействия помехи на систему;
- расчет воздействий, обусловленных заданной связью;
- выбор параметров средств подавления помех, например фильтров;
- определение граничных областей, например, максимального возможного или допустимого излучения помех или охарактеризовать границы помехоустойчивости;
- получение представлений о воздействии при испытаниях со-

гласно нормам электромагнитной совместимости, т.е. о параметрах генераторов, применяемых при испытаниях.

Параметры помех, в зависимости от электромагнитной обстановки на энергообъекте могут изменяться в очень широких пределах. Возможные диапазоны параметров электромагнитных помех приведены в таблице 1.

Таблица 1

Возможные диапазоны значения параметров помех

Параметр	Обозначение	Значение
Частота, Гц	F	$0 \div 10^{10}$
Максимальное значение напряжения, В	U_{max}	$10^{-6} \div 10^6$
Скорость изменения напряжения, В/с	du/dt	$0 \div 10^{12}$
Напряженность электрического поля, В/м	E	$0 \div 10^5$
Максимальное значение тока, А	I_{max}	$10^{-9} \div 10^5$
Скорость изменения тока, А/с	di/dt	$0 \div 10^{11}$
Напряженность магнитного поля, А/м	H	$10^{-6} \div 10^8$
Время нарастания импульса, с	T_r	$10^{-9} \div 10^{-2}$
Длительность импульса, с		$10^{-8} \div 10$
Энергия импульса, Дж	W	$10^{-9} \div 10^7$

2.1. Описание помех в частотной области

Электромагнитные влияния могут рассматриваться как во временной, так и в частотной области. Однако поскольку передаточные свойства путей связи и средств помехоподавления удобнее представлять в частотной области, такое представление чаще всего предпочитают и для помех. Пересчет периодических процессов из временной области в частотную выполняют при помощи ряда Фурье, пересчет однократных импульсных процессов - при помощи интеграла Фурье. Синусоидальные помехи (гармонические процессы) могут быть представлены как во временной, так и в частотной областях непосредственно (рис. 7). В частотной области помеха характеризуется угловой частотой ω и частотой колебаний $f = \omega / 2\pi$.

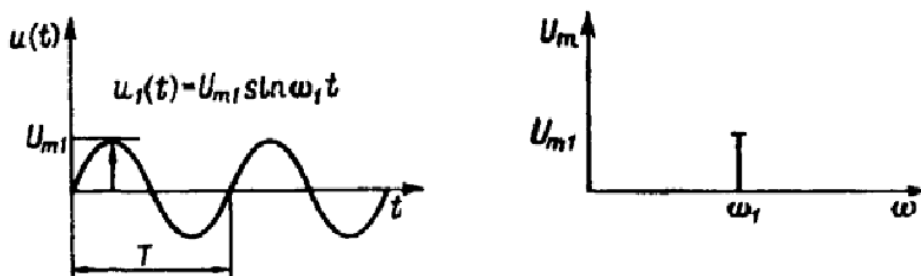


Рис. 7. Представление синусоидальной помехи во временной и частотной областях

Несинусоидальные периодические функции - например, пилообразной или прямоугольной формы импульсы напряжения или тока выпрямителей которые, в некоторых случаях, можно описать аналитически, - могут быть представлены в частотной области как бесконечная сумма синусоидальных и косинусоидальных колебаний, т.е. рядом Фурье. Например, можно представить себе несимметричное напряжение прямоугольной формы возникшим как наложение основного колебания и основной частоты f_1 и бесконечно многих гармонических колебаний u_v с частотами $v f_1$. Зависимость амплитуды отдельных колебаний от частоты представляет собой дискретный линейчатый спектр (рис. 8). Наименьшая встречающаяся в линейчатом спектре частота — основная частота. Частоты высших гармоник являются значениями, кратными этой основной частоте, например $f_3 = 3 f_1$.

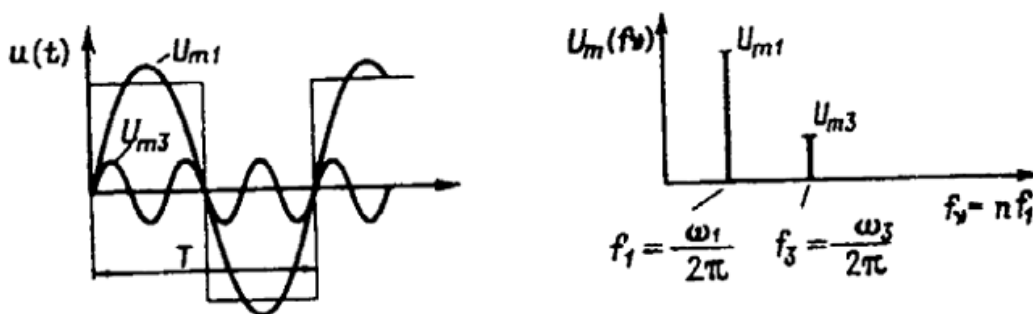


Рис. 8. Представление периодической прямоугольной функции во временной и частотной областях

Аналитически ряд Фурье любой функции времени может быть представлен в различных формах:

- нормальной

$$\begin{aligned}
 u(t) &= U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega_1 t + B_n \sin n\omega_1 t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \cos(n\omega_1 t + \varphi_n), \\
 A_n &= \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos(n\omega_1 t) dt, \\
 B_n &= \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin(n\omega_1 t) dt, \\
 U_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.
 \end{aligned} \tag{9}$$

- комплексной - если дополнять вышеприведенные уравнения мнимой частью и заменить тригонометрические функции по формуле Эйлера экспоненциальными функциями $e^{jx} = \cos x + j \cdot \sin x$, получаем уравнение в комплексной форме:

$$\begin{aligned}
 u(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} \dot{C}_n e^{jn\omega_1 t} = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\dot{C}_{+n} e^{jn\omega_1 t} + \dot{C}_{-n} e^{-jn\omega_1 t} \right), \\
 \dot{C}_n (\pm n\omega_1) &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) e^{-jn\omega_1 t} dt = \left| \dot{C}_n \right| e^{j\varphi_n} = C_n e^{j\varphi_n}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots
 \end{aligned} \tag{10}$$

Ряд Фурье допускает представление в частотной области только периодических функций времени. Однако часто имеют дело с непериодическими функциями, характерными, например, для коммутационных процессов, молнии или разрядов статического электричества и т. д.

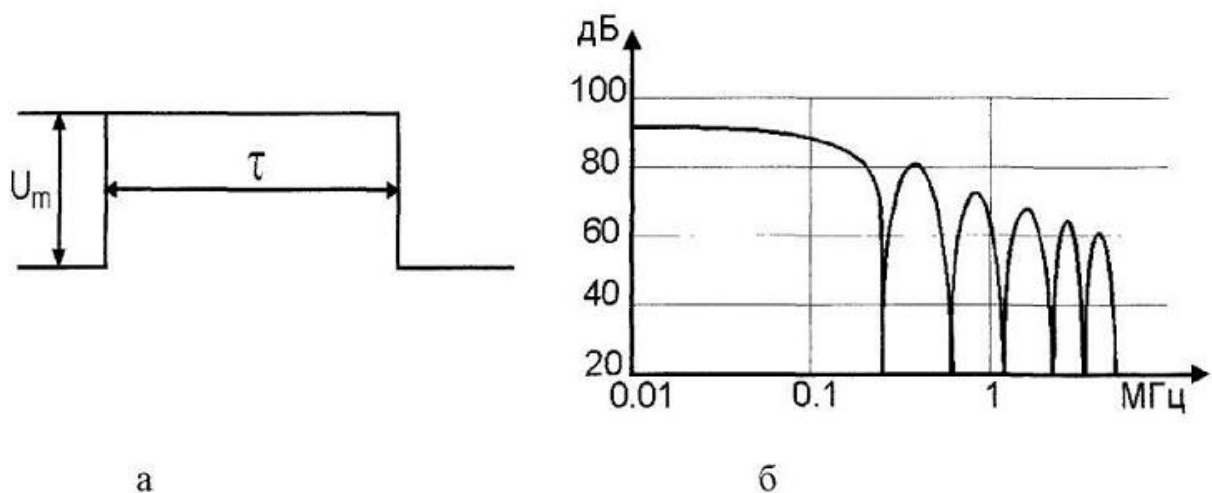


Рис. 9. Однократный прямоугольный импульс (а) и соответствующая ему физическая плотность распределения амплитуд в логарифмическом масштабе

Непериодические процессы тоже могут быть представлены как наложение синусоидальных или косинусоидальных колебаний. Однако в отличие от периодических процессов здесь участвуют все частоты от $\infty -$ до $\infty +$ с амплитудами $\dot{X}(\omega)df$. Так как при однократных процессах содержащаяся в одном импульсе конечная энергия распределяется на бесконечное множество частот, то амплитуда отдельной спектральной составляющей должна быть бесконечно малой. Чтобы избежать этой неопределенности, относят энергию импульса к частоте и получают, таким образом, спектральную плотность, предельное значение которой при $\Delta f \rightarrow 0$ остается конечным и как раз соответствует преобразованию Фурье (рис. 9).

2.2. Классификация источников помех

Помехи можно разбить на две большие группы: **естественные**, обусловленные природными электромагнитными явлениями, и **искусствен-**

ные, образованные электромагнитными процессами в технических устройствах.

Среди естественных источников наиболее существенное влияние оказывают разряды атмосферного электричества и разряды статического электричества между телами, получившими заряды разной полярности. Все другие источники - солнечное и космическое излучение, геомагнитные и геоэлектрические поля оказывают меньшее влияние.

К искусственным источникам относятся разнообразные электроэнергетические, электротехнические, радиотехнические и другие устройства, использующие электрическую энергию в быту, на производстве, для целей телекоммуникаций и т.д. В результате действия искусственных помех в окружающем пространстве возникает электромагнитный фон, который может значительно превышать естественные помехи.

В зависимости от того, используются искусственные источники помех преднамеренно или являются паразитными, различают *функциональные* и *нефункциональные* источники помех. Примерами функциональных источников являются радио- и телепередатчики, генераторы высокой частоты для промышленного и медицинского применения, микроволновые печи, радиолокаторы и т.д. К нефункциональным источникам относятся автомобильные устройства зажигания, люминесцентные лампы, сварочное оборудование, электрический транспорт, коронные разряды и коммутационные процессы в сетях высокого напряжения и т.д.

Наиболее важной с точки зрения ЭМС является классификация источников помех по излучаемому ими спектру частот. Различают *узкополосные* и *широкополосные* источники помех, а также *шумовые помехи*.

Сигнал считается **широкополосным**, если его спектр простирается на ширину полосы большую, чем ширина полосы определенного приемни-

ка. К таким сигналам относятся, например, периодически повторяющийся прямоугольный импульс, или падающая волна разряда атмосферного электричества.

Если спектр сигнала меньше ширины полосы пропускания рассматриваемого приемника, то этот сигнал считается **узкополосным**. Примером узкополосного сигнала является синусоидальная, постоянно действующая помеха определенной частоты.

Шумовые помехи нельзя определенно описать аналитическими временными функциями. Они проявляют себя как результат многих отдельных помех.

2.4. Классификация электромагнитной обстановки окружающей среды

Электромагнитные помехи воздействуют на ТС в результате процессов излучения или проводимости. При рассмотрении вопросов устойчивости электромагнитным помехам особое значение имеет установление портов ТС, через которые происходит воздействие (рис. 10). Характер и степень воздействия электромагнитной помехи зависят от вида порта [5]. Излучаемые электромагнитные помехи, воздействующие на проводники, присоединенные к ТС вне его корпуса, становятся кондуктивными помехами. Непосредственно излучаемые электромагнитные помехи воздействуют только на порт корпуса.

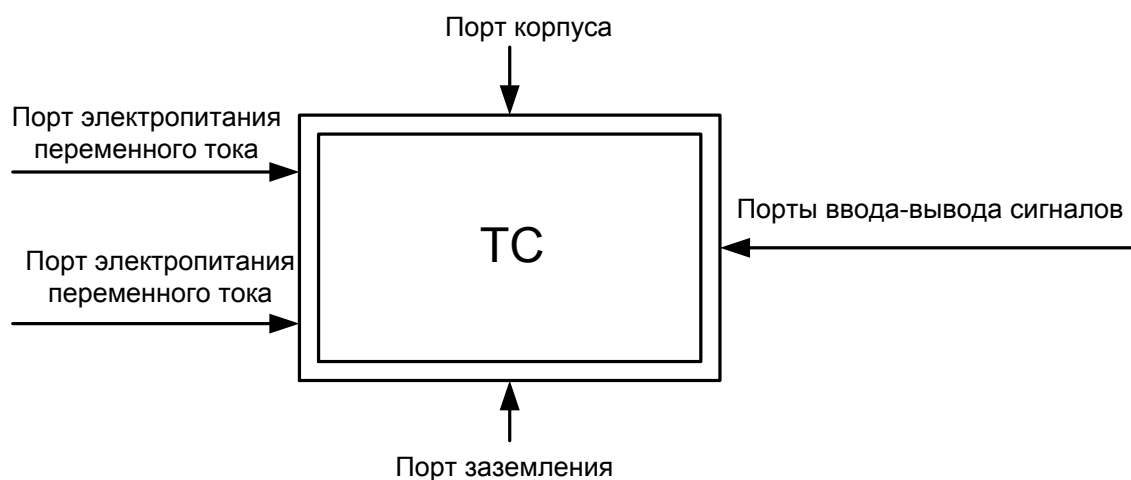


Рис. 10. Воздействие электромагнитных помех на техническое средство через порты

Электромагнитная обстановка, в которой ТС должны функционировать без нарушений, достаточно сложна. С целью ее классификации установлены следующие три категории электромагнитных помех, характеризующих электромагнитную обстановку:

- низкочастотные (до 9кГц) электромагнитные помехи (кондуктивные и излучаемые), вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов;
- высокочастотные (выше 9кГц) электромагнитные помехи (кондуктивные и излучаемые), вызываемые любым источником, кроме электростатических разрядов;
- электростатические разряды.

Кроме того, должны быть учтены электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и другие электромагнитные явления и процессы большой энергии, которые могут представлять угрозу для ТС гражданского назначения.

Согласно [5] классы размещения ТС охватывают широкий диапазон эксплуатации ТС, но не исчерпывают их разнообразия. При этом в [5] при-

ведены наиболее характерные признаки классов электромагнитной обстановки, связанные с наличием или отсутствием тех или иных электромагнитных воздействий на ТС и относящиеся к тем или иным его портам.

2.4.1. Класс 1 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения в жилых помещениях в сельской местности.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- ТС не располагаются под высоковольтными линиями электропередач;
- радиовещательные передатчики расположены на удалении более 1 км;
- радиостанции любительской радиосвязи расположены на расстоянии более 200 м.

Порты электропитания переменного тока:

- могут быть подключены к воздушным силовым линиям малонаселенных районов;
- подвергаются значительным воздействиям разрядов атмосферного электричества;
- сеть электропитания имеет относительно высокое полное сопротивление.

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- подключаемые линии связи находятся в малонаселенных рай-

онах;

- подключаемые кабели управления обычно имеют длину не более 10 м;
- подвергаются значительным воздействиям разрядов атмосферного электричества.

Порты защитного заземления:

- могут быть подвержены воздействию помех, возникающих в воздушных линиях электропередачи в результате воздействия молниевых разрядов;
- местное заземление может отсутствовать или иметь высокое значение полного сопротивления;
- многочисленные местные заземления могут быть не связаны между собой.

Таблица 2 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 2

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 1 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	95-500 кГц	—	1	—	—	—
	Колебания питающего напряжения	—	2	—	—	—
	Провалы напряжения	—	2	—	—	—
	Перерывы в электроснабжении	—	2	—	—	—
	Несимметрия напряжения	—	1	—	—	—
	Отклонения напряжения	—	2	—	—	—
	Изменения частоты питающего напряжения	—	1	—	—	—
	Наведенные низкочастотные помехи	—	—	—	1	—
	Постоянный ток в сетях переменного тока	—	—	—	—	—
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	—	—	—	—
	На частоте электрической тяги	2	—	—	—	—
	На основной частоте электропитания	2	—	—	—	—
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	—	—	—	—
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	—	—	—	—
	На частоте электрической тяги	2	—	—	—	—
	На основной частоте электропитания	2	—	—	—	—
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	—	2	—	3	—
	0,1 -30 МГц	—	3	—	3	—
	30-150 МГц	—	2	—	2	—
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	—	1	—	—	—
	95-500 кГц	—	1	—	—	—
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	—	—	—	—	—
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	—	3	—	1	—
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	—	2	—	1	—
	Миллисекундной длительности	—	1	—	—	—
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	—	3	—	1	—
	Средней частоты	—	2	—	1	—
	Низкой частоты	—	1	—	—	—
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	3	—	—	—	—
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	3	—	—	—	—
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	3	—	—	—	—
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	3	—	—	—	—
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	—	—	—	—
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	1	—	—	—	—
	1-40 ГГц	2	—	—	—	—
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	—	—	—	—
	Помехи в системах электропитания	2	—	—	—	—
Электростатические разряды	Медленные	3	—	—	—	—
	Быстрые	3	—	—	—	—

2.4.2. Класс 2 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения в жилых городских помещениях. Возможно умеренное воздействие электромагнитных помех от молниевых разрядов. Высоковольтные ЛЭП могут располагаться над зданиями

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- радиостанции любительской радиосвязи могут быть расположены на расстоянии менее 20 м;
- радиовещательные передатчики, работающие на частотах ниже 1,6 МГц, расположены на удалении более 5 км;
- поблизости возможно применение медицинских высокочастотных устройств;
- поблизости могут быть расположены местные ТП;
- в общественных местах возможно использование звукопроводящих систем и слуховых аппаратов.

Порты электропитания переменного тока:

- подключают к силовым кабелям;
- возможно применение коротких отрезков воздушных линий.

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- возможно применение коротких отрезков воздушных линий связи.

Порты защитного заземления:

- применение в качестве защитного заземления металлических структур, которые могут быть соединены или не соединены с

опорной точкой заземления.

Таблица 3 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 3

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 2 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Провалы напряжения	–	1	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	1	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	1	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	1	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	1	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	–	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	2	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	3	–	3	–
	0,1 -30 МГц	–	4	–	3	–
	30-150 МГц	–	3	–	2	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	2	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	–	–	–	–	–
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	–	3	–	1	–
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	–	2	–	1	–
	Миллисекундной длительности	–	1	–	2	–

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	–	3	–	2	–
	Средней частоты	–	2	–	2	–
	Низкой частоты	–	1	–	–	–
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	2	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	4	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	4	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	1	–	–	–	–
	1-40 ГГц	2	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	2	–	–	–	–
Электростатические разряды	Медленные	3	–	–	–	–
	Быстрые	3	–	–	–	–

2.4.3. Класс 3 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения в коммерческих зонах. К электрическим сетям могут быть подключены бытовые потребители электрической энергии. Промышленное (станочное) оборудование не применяется.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- радиостанции любительской радиосвязи расположены на расстоянии не более 20 м;
- радиовещательные передатчики, работающие на частотах ниже 1,6 МГц, расположены на удалении более 5 км;
- высокая концентрация оборудования информационных технологий;

- вблизи возможно применение медицинских высокочастотных устройств;
- вблизи могут быть расположены местные электрические подстанции;
- в помещениях возможно использование звукопроводящих систем и слуховых аппаратов.

Порты электропитания переменного тока:

- подключают к силовым кабелям;
- возможно применение коротких отрезков воздушных силовых линий;
- присутствие высоких уровней гармоник напряжения электропитания (применение оборудования информационных технологий, световых приборов, регулируемых электрических приводов);
- применение оборудования с установкой на крышах зданий (возможность воздействия разрядов атмосферного электричества).

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- возможно применение коротких отрезков воздушных линий связи;
- в системах передачи сигналов возможны помехи при коммутационных процессах в сети электропитания.

Порты защитного заземления:

- системы связи (включая местные) могут иметь общую систему заземления с электрическими установками.

Таблица 4 показывает воздействие различных помех на порты ТС.

Таблица 4

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 3 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Провалы напряжения	–	1	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	1	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	1	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	1	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	2	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	–	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	2	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	3	–	3	–
	0,1 -30 МГц	–	4	–	4	–
	30-150 МГц	–	3	–	3	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	2	–	–	–

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	–	–	–	2	–
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	–	3	–	1	–
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	–	2	–	1	–
	Миллисекундной длительности	–	1	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	–	3	–	2	–
	Средней частоты	–	2	–	2	–
	Низкой частоты	–	1	–	–	–
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	2	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	4	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	1	–	–	–	–
	1-40 ГГц	3	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	1	–	–	–	–
Электростатические разряды	Медленные	3	–	–	–	–
	Быстрые	3	–	–	–	–

2.4.4. Класс 4 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения в производственных зонах с малым энергопотреблением.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- радиостанции любительской радиосвязи расположены на расстоянии не более 20 м;
- радиовещательные передатчики, работающие на частотах ниже

1,6 МГц, расположены на удалении более 5 км;

- высокая концентрация оборудования информационных технологий;
- поблизости возможно применение промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств малой мощности;
- поблизости могут быть расположены местные электрические подстанции;
- в помещениях возможно использование звукопроводящих систем и слуховых аппаратов.

Порты электропитания переменного тока:

- подключают к силовым кабелям;
- возможно применение коротких отрезков воздушных силовых линий.

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- возможно применение коротких отрезков воздушных силовых линий.

Порты защитного заземления:

- применение в качестве защитного заземления металлических структур, которые могут быть соединены или не соединены с опорной точкой заземления.

Таблица 5 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 5

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 4 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	2	–	–	–
	Провалы напряжения	–	2	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	2	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	2	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	1	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	3	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	–	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	2	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	3	–	3	–
	0,1 -30 МГц	–	4	–	4	–
	30-150 МГц	–	3	–	3	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	2	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	–	3	–	2	–
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	–	3	–	2	–
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	–	2	–	2	–
	Миллисекундной длительности	–	1	–	–	–

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	–	3	–	2	–
	Средней частоты	–	2	–	2	–
	Низкой частоты	–	1	–	–	–
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	3	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	1-40 ГГц	3	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	2	–	–	–	–
Электростатические разряды	Медленные	3	–	–	–	–
	Быстрые	3	–	–	–	–

2.4.5. Класс 5 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения на предприятиях тяжелой промышленности, электростанциях и электрических подстанциях.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- радиостанции любительской радиосвязи расположены на расстоянии не более 20 м;
- радиовещательные передатчики, работающие на частотах ниже 1,6 МГц, расположены на удалении более 5 км;
- непосредственная близость к промышленным, научным и медицинским высокочастотным устройствам большой мощности;

- непосредственная близость к переключающим и разъединяющим устройствам электрических подстанций среднего и высокого напряжения;
- непосредственная близость к оборудованию электрической дуговой сварки;
- близость электрических кабелей среднего напряжения.

Порты электропитания переменного тока:

- подключение силовых установок средней мощности к подземным кабелям;
- наличие отдельных электрических подстанций высокого напряжения для силовых установок большой мощности;
- возможность применения автономных силовых фидеров;
- возможность собственной генерации питающего напряжения;
- коррекция коэффициента мощности;
- применение электрических регулируемых приводов значительной мощности;
- использование разъединяющих выключателей;
- применение дуговых электрических печей;
- наличие нагрузок со значительными изменениями потребляемой мощности;
- могут иметь место значительные токи короткого замыкания.

Порты электропитания постоянного тока:

- применение выпрямителей с аккумуляторными батареями;
- наличие переключаемых индуктивных нагрузок в электрических сетях;
- наличие нагрузок со значительными изменениями потребляемой мощности.

Порты ввода-вывода сигналов:

- силовые и кабельные линии могут быть не разнесены;
- токи, вызванные операциями переключения в системе электропитания, могут создавать значительные помехи в системах связи;
- ТС, располагаемые вне зданий, могут подвергаться повреждениям;
- повышенная возможность воздействия молниевых разрядов.

Порты защитного заземления:

- использование разветвленных систем заземления;
- наличие распределенных локальных систем опорного заземления, как правило, хорошо контролируемых;
- наличие электрических соединений между отдельными локальными системами опорного заземления;
- могут иметь место значительные токи короткого замыкания на землю.

Таблица 6 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 6

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 5 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	2	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	2	–	–	–
	Провалы напряжения	–	2	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	2	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	2	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	2	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	3	4	3
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
	От систем постоянного тока	3	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	На частоте электрической тяги	2	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	3	–	–	–	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	3	–	–	–	–
	От систем постоянного тока	4	–	–	–	–
Низкочастотное электрическое поле	На частоте электрической тяги	4	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	4	–	–	–	–
	От систем постоянного тока	4	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	3	3	4	–
	0,1 -30 МГц	–	3	3	5	–
	30-150 МГц	–	3	3	3	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	1	–	–
	95-500 кГц	–	2	1	–	–
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	–	3	3	2	–
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	–	3	2	3	–
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	–	2	2	3	–
	Миллисекундной длительности	–	2	2	–	–

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные ко- лебательные, пере- ходные процессы	Высокой частоты	–	3	–	2	–
	Средней частоты	–	2	–	2	–
	Низкой частоты	–	3	–	–	–
Высокочастотные излучаемые элект- ромагнитные поля (непрерывные ко- лебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	5	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	4	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	1-40 ГГц	3	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые им- пульсные электро- магнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	4	–	–	–	–
Электростатические разряды	Медленные	2	–	–	–	–
	Быстрые	2	–	–	–	–

2.4.6. Класс 6 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения ТС вблизи оживленных магистралей и на улицах с интенсивным движением.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- парковка автомобилей под высоковольтными линиями электропередачи;
- в непосредственной близости могут применяться подвижные радиопередатчики значительной мощности.

Порты электропитания переменного тока:

- могут быть подключены к силовым линиям электропередач,

проходящим на открытом воздухе;

- подвергаются значительным воздействиям молниевых разрядов.

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- подвергаются значительным воздействиям молниевых разрядов.

Порты защитного заземления:

- применение длинных цепей с различными точками опорного заземления.

Таблица 7 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 7

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 6 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	2	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Провалы напряжения	–	1	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	1	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	1	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	2	–	–	–

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	1	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	–	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	–	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	3	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	4	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	2	–	1	–
	0,1 -30 МГц	–	2	–	1	–
	30-150 МГц	–	2	–	1	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	–	–	–	3	–
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	–	3	–	3	–
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	–	3	–	3	–
	Миллисекундной длительности	–	3	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	–	3	–	3	–
	Средней частоты	–	2	–	3	–
	Низкой частоты	–	3	–	–	–
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	3	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	5	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	1-40 ГГц	2	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	2	–	–	–	–
Электростатические разряды	Медленные	1	–	–	–	–
	Быстрые	1	–	–	–	–

2.4.7. Класс 7 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения ТС в помещениях центра передачи данных.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- использование специального экрана здания;
- применение переносных радиостанций может быть запрещено.

Порты электропитания переменного тока:

- подключение к силовым кабелям;
- возможно применение коротких отрезков воздушных ЛЭП;
- высокие уровни гармоник напряжения электропитания (применение оборудования информационных технологий, световых приборов, регулируемых электрических приводов);
- применение оборудования с установкой на крышах зданий (возможность воздействия разрядов атмосферного электричества).

Порты электропитания постоянного тока:

- применение (нахождение в резерве) систем бесперебойного питания;
- возможно использование резервного электрического генератора.

Порты ввода-вывода сигналов:

- использование устройств защиты от перенапряжений на линиях связи;
- применяются мероприятия для уменьшения воздействия электростатических разрядов.

Порты защитного заземления:

- применение специально сконструированной системы заземления, на которую практически не оказывают влияние силовые установки и молниевые разряды.

Таблица 8 показывает степень интенсивности воздействия различных помех на порты ТС согласно [5].

Таблица 8

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 7 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Провалы напряжения	–	1	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	1	–	–	–
	Несимметрия напряжения	–	1	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	2	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	1	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	1	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	1	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	1	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	1	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	1	–	–	–	–

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	—	2	2	2	—
	0,1 -30 МГц	—	2	2	2	—
	30-150 МГц	—	2	2	2	—
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	—	1	—	—	—
	95-500 кГц	—	2	—	—	—
Высокочастотные кондуктивные аperiодические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	—	2	—	2	—
	Микросекундной длительности (в ближней зоне)	—	2	—	2	—
	Микросекундной длительности (в дальней зоне)	—	2	—	2	—
	Миллисекундной длительности	—	1	—	—	—
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные процессы	Высокой частоты	—	2	—	2	—
	Средней частоты	—	2	—	2	—
	Низкой частоты	—	1	—	—	—
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	1	—	—	—	—
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	2	—	—	—	—
	Любительская радиосвязь (все диапазоны)	2	—	—	—	—
	27-1000 МГц (портативные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	1	—	—	—	—
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций гражданского диапазона)	2	—	—	—	—
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	1	—	—	—	—
	1-40 ГГц	2	—	—	—	—
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	2	—	—	—	—
	Помехи в системах электропитания	2	—	—	—	—
Электростатические разряды	Медленные	1	—	—	—	—
	Быстрые	1	—	—	—	—

2.4.8. Класс 8 мест размещения технических средств

Данный класс типичный для применения ТС в помещениях клиник, больниц, госпиталей. В некоторых помещениях, содержащих оборудование ядерного магнитного резонанса, могут иметь место высокие уровни

постоянных и низкочастотных магнитных полей. В этом классе могут применяться импульсные лазеры и высокочастотные электрохирургические инструменты.

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- непосредственная близость к промышленным, научным и медицинским высокочастотным устройствам малой мощности;
- наличие рентгеновских импульсных излучений и рентгеновских установок;
- применение оборудования, использующего излучения в гигагерцовой полосе частот (линейные ускорители, магнетроны);
- применение ультразвукового оборудования.

Порты электропитания переменного тока:

- подключение медицинского оборудования жизнеобеспечения;
- использование разделительных трансформаторов;
- применение систем бесперебойного питания;
- наличие резервных электрических генераторов.

Порты электропитания постоянного тока не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- помехи в результате процессов коммутации в силовых сетях могут оказывать влияние на аппаратуру передачи данных;
- применение низкоуровневых систем регистрации данных.

Порты защитного заземления:

- применение специально сконструированной системы заземления в целях обеспечения безопасности применения оборудования.

Таблица 9 показывает воздействие различных помех на порты ТС.

Таблица 9

Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида для 7 класса размещения ТС

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида				
		Порт корпуса	Порт электропитания переменного тока	Порт электропитания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
1	2	3	4	5	6	7
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	–	1	–	–	–
	Сигналы, передаваемые по силовым линиям:					
	0,1-3 кГц	–	1	–	–	–
	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	1	–	–	–
	Колебания питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Провалы напряжения	–	1	–	–	–
	Перерывы в электроснабжении	–	1	–	–	–
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Несимметрия напряжения	–	1	–	–	–
	Отклонения напряжения	–	2	–	–	–
	Изменения частоты питающего напряжения	–	1	–	–	–
	Наведенные низкочастотные помехи	–	–	–	1	–
	Постоянный ток в сетях переменного тока	–	–	–	–	–
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	1	–	–	3	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	3	–
	На основной частоте электропитания	2	–	–	3	–
	На гармониках, не связанных с основной частотой	1	–	–	3	–
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	1	–	–	–	–
	На частоте электрической тяги	1	–	–	–	–
	На основной частоте электропитания	1	–	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	–	2	–	2	2
	0,1 -30 МГц	–	2	–	3	2
	30-150 МГц	–	2	–	2	–
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем канализации по силовым линиям	3-95 кГц	–	1	–	–	–
	95-500 кГц	–	2	–	–	–

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
Высокочастотные кондуктивные апе- риодические элек- тромагнитные по- мехи	Наносекундной длительности	–	–	–	1	–
	Микросекундной длительности (в ближ- ней зоне)	–	3	–	1	–
	Микросекундной длительности (в даль- ней зоне)	–	2	–	1	–
	Миллисекундной длительности	–	1	–	–	–
Высокочастотные кондуктивные ко- лебательные, пере- ходные процессы	Высокой частоты	–	2	–	2	–
	Средней частоты	–	2	–	2	–
	Низкой частоты	–	1	–	–	–
Высокочастотные излучаемые элек- тромагнитные поля (непрерывные ко- лебания)	9 кГц - 27 МГц (любые источники)	2	–	–	–	–
	26-28 МГц (радиостанции гражданского диапазона)	3	–	–	–	–
	Любительская радиосвязь (все диапазо- ны)	3	–	–	–	–
	27-1000 МГц (портативные радиотелефо- ны за исключением радиостанций граж- данского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (мобильные радиотелефоны за исключением радиостанций граждан- ского диапазона)	2	–	–	–	–
	27-1000 МГц (все источники, исключая портативные, мобильные радиотелефоны и радиостанции гражданского диапазона)	2	–	–	–	–
	1-40 ГГц	2	–	–	–	–
Высокочастотные излучаемые им- пульсные электро- магнитные поля	Молниевые разряды	2	–	–	–	–
	Помехи в системах электропитания	2	–	–	–	–
Электростатиче- ские разряды	Медленные	2	–	–	–	–
	Быстрые	2	–	–	–	–

3. МЕХАНИЗМЫ СВЯЗИ

3.1. Гальваническая связь и способы ее ослабления

Гальваническая связь проявляется в качестве противофазной помехи через общее сопротивление двух или несколько электрически связанных контуров. Гальваническое влияние осуществляется, как правило, через сопротивления сетевых проводов или через систему защитных и заземляющих проводов.

В качестве примера рассмотрим затекание блуждающих токов в каналы однопроводных линий связи (рис. 11) – влияние через контур заземления [9].

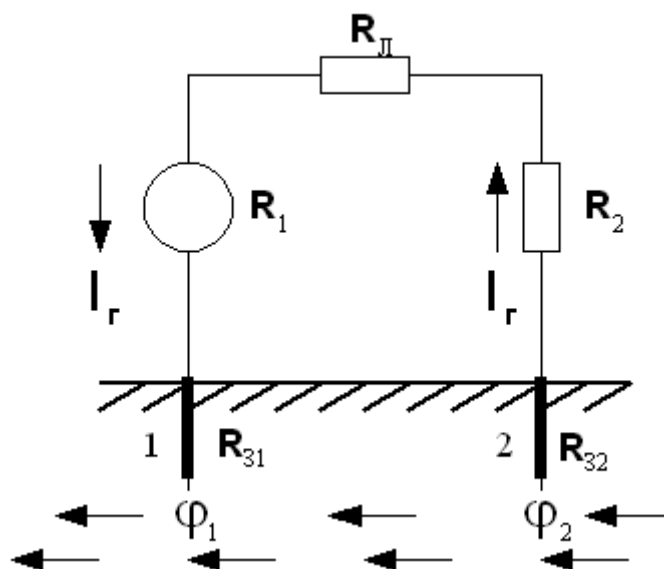


Рис. 11. Схема гальванического влияния

На схеме гальванического влияния (рис. 11) приняты следующие обозначения: R_1 , R_2 – сопротивления передающего и принимающего устройств однопроводной линии связи; $R_{\text{л}}$ – сопротивление линии; R_{31} , R_{32} – сопротивления заземлений начала и конца линии. Протекание блуждающе-

го тока в земле является причиной появления в точках 1 и 2 потенциалов φ_1 и φ_2 . Разность этих потенциалов создает посторонний ток в линии, ток гальванического влияния. Этот ток, накладываясь на сигналы, передаваемые по линии связи, искажает их.

Мероприятия по снижению влияния через контур заземления заключаются в снижении разности потенциалов между заземляющими контурами за счет уменьшения сопротивления между точками 1 и 2. Это достигается, например, выполнением пола в виде проводящей эквипотенциальной поверхности, соединением приборов массивными проводниками или же экранированием линий с заземлением экранов у обоих концов. Другим методом снижения влияния через контур заземления является уменьшение тока помехи. Наиболее простой способ разрыв контура заземления.

В качестве примера гальванической связи через цепи питания показана схема питания постоянным напряжением нескольких логических модулей, в которой изменение тока di/dt одного модуля генерирует напряжение помехи U_{Π} из-за падения напряжения на R и L , накладывающегося на напряжение питания (рис. 12).

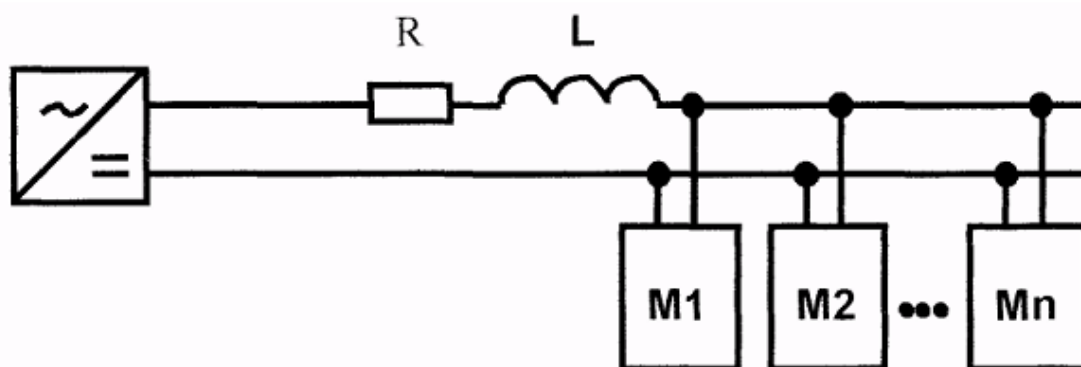


Рис. 12. Гальваническая связь в цепи питания логических модулей

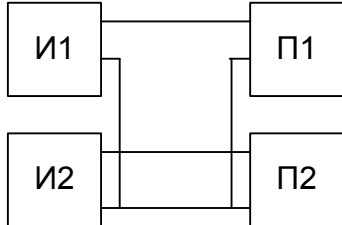
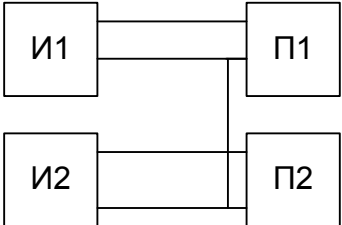
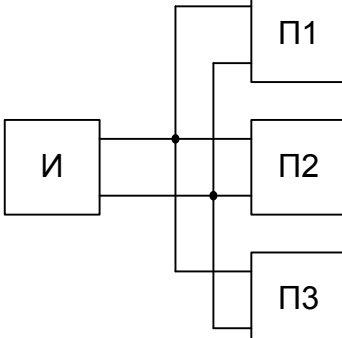
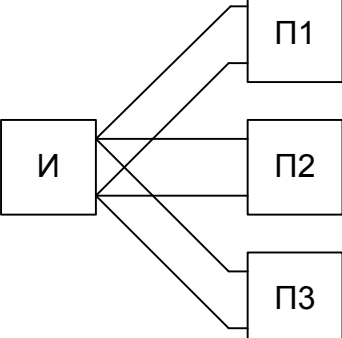
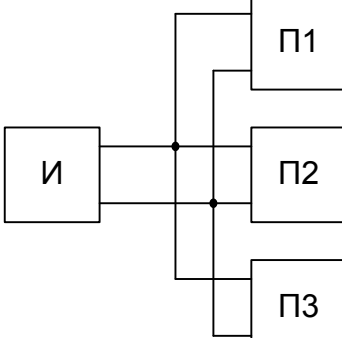
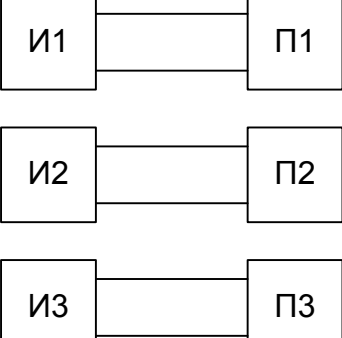
Упрощенно напряжение помехи u_n находится по формуле:

$$u_n = R \cdot \Delta i + L \frac{\Delta i}{\Delta t}. \quad (11)$$

Для устранения помех при данной гальванической связи можно выполнить некоторые мероприятия, указанные в таблице 10.

Таблица 10

Снижение гальванических помех через цепи питания

№ п/п	Пример неудачного подключения приемников помех	Реализация мер по снижению гальванической помехи
1		
2		
3		

Для снижения гальванической связи через цепи питания рекомендуются следующие мероприятия:

- Выполнение соединений с возможно более низким полным со-

противлением, особенно низкой индуктивностью. Для этого требуется возможно меньшая длина общих линий, большое сечение проводников, малые расстояния между прямым и обратным проводом, выполнение систем опорного потенциала и проводов питания в виде плоских шин.

- Гальваническая развязка, т. е. устранение совместных проводов между различными контурами. Это осуществляется отказом от общих обратных проводников (таблица 10 №1), выполнением радиальной схемы питания компонентов устройств автоматизации (таблица 10 №2), отдельным питанием мощных электрических, аналоговых и дискретных элементов (таблица 10 №3), которые потребляют сильно различающиеся мощности.
- Разделение потенциалов, т. е. устранение любых гальванических контактов между контурами путем использования оптопар и оптоволоконных линий.
- Выбор скорости изменения тока не большей, чем требуется по условиям функционирования.
- Установка стабилизирующих конденсаторов или применение индивидуальных коммутационных стабилизаторов для узлов и модулей с быстрыми коммутационными процессами, где возможны резкие изменения тока.

3.2. Емкостная связь и способы ее ослабления

Причиной емкостной связи могут быть паразитные, т. е. неустранимые схемным путем, емкости между проводами или проводящими предме-

тами, принадлежащими разным токовым контурам (рис. 13).

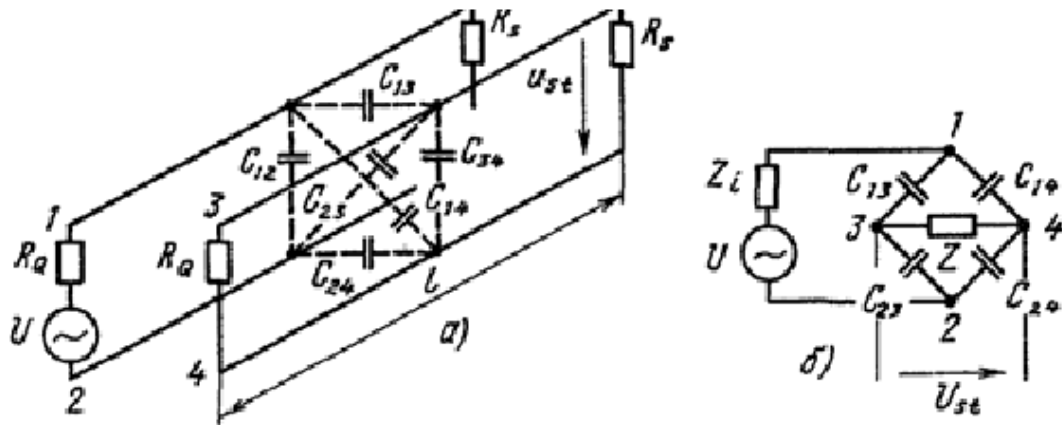


Рис. 13. Емкостная связь (а) и схема замещения (б)

Система проводников 1,2 оказывает воздействие на контур с проводниками 3,4. Можно установить, что напряжение помехи равно нулю, если соблюдается условие:

$$\frac{C_{13}}{C_{23}} = \frac{C_{14}}{C_{24}}. \quad (12)$$

Это условие можно обеспечить попарным скручиванием провода 1 с проводом 2 и провода 3 с проводом 4. Другой возможностью снижения емкостной связи гальванически разделенных контуров является экранирование проводов 1, 2 и проводов 3,4.

Другой разновидностью емкостного влияния является влияние в контуре с общим проводом системы опорного потенциала. Такие контуры типичны для аналоговых и цифровых схем. В качестве примера приведена логическая схема (рис. 14), в которой может произойти непредусмотренное изменение состояния триггера D при изменении сигнала на выходе элемента А из-за наличия паразитной емкости \$C_{13}\$.

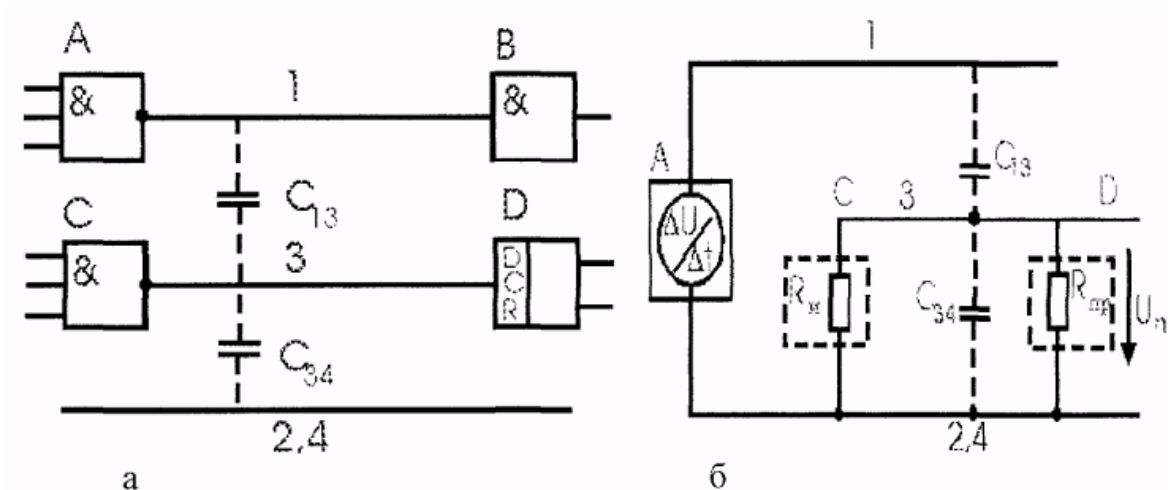


Рис. 14. Емкостная связь контуров с общим проводом системы опорного потенциала 2,4 (а) и схема замещения (б)

Обычно выходное сопротивление источника мало. В этом случае емкость C_{13} и сопротивление источника образуют частотно — зависимый делитель напряжения. В этом случае напряжение помехи достигает единиц вольт.

Мероприятия по снижению емкостного влияния контуров с общим проводом системы опорного потенциала следующие:

- обеспечение малой емкости C_{13} из-за сокращения длины проводов, уменьшения диаметра провода, увеличения расстояния между проводами 1 и 3, исключения их параллельной прокладки, применения изоляции проводов с малой диэлектрической проницаемостью;
- увеличение емкости C_{34} путем скрутки сигнальных проводов, использования плоских проводов;
- выполнение предельно низкоомными токовых контуров, подверженных влиянию;
- ограничения скорости изменения напряжения

- экранирование проводов и контуров, чувствительных к влиянию.

Под влиянием экрана существенно уменьшается емкость C_{13} , а емкость C_{34} увеличивается, что приводит к снижению напряжения помехи.

3.3. Индуктивная связь и способы ее ослабления

Индуктивное влияние обусловлено наличием паразитных потокоосцеплений между контурами, входящих в состав промышленных устройств или образованных при разрядах атмосферного и статического электричества.

В качестве примера рассмотрим два индуктивно связанных контура (рис. 15).

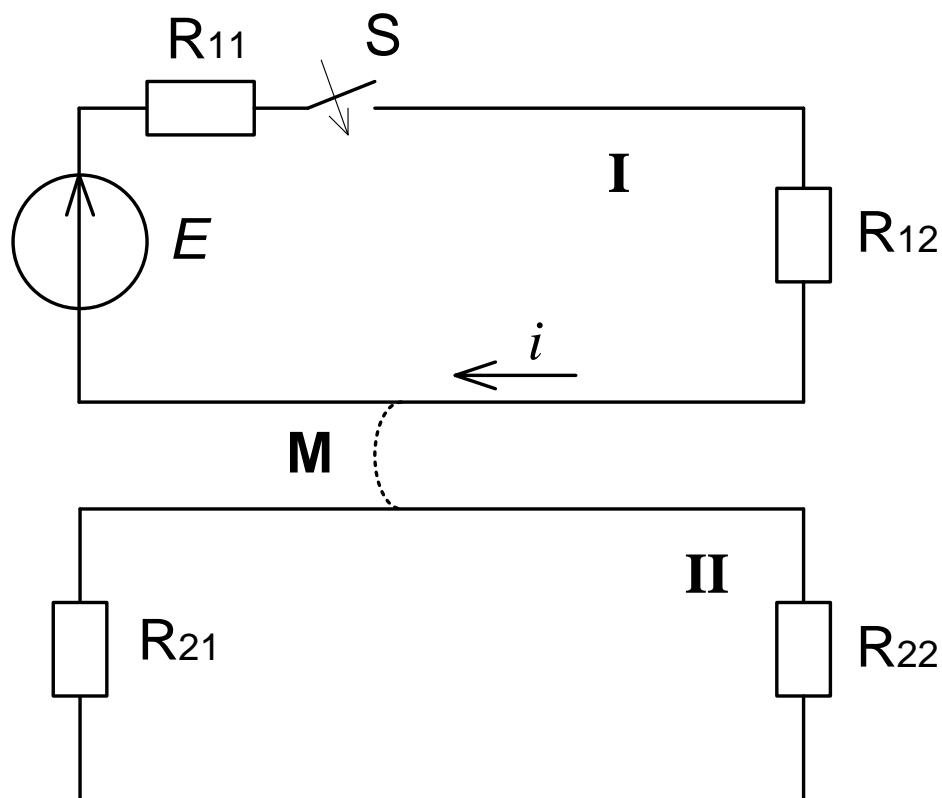


Рис. 15. Индуктивное влияние между токовыми контурами

Если в контуре I имеет место быстрое изменение тока, например при коммутациях, то в контуре II индуцируется напряжение помехи, определяемое по закону электромагнитной индукции:

$$e = M \frac{\Delta i}{\Delta t} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \quad (13)$$

где Φ – часть магнитного потока контура I, пронизывающая контур II; M – взаимная индуктивность контуров I и II. Взаимная индуктивность зависит от конфигурации и размеров контуров, их взаимного расположения в пространстве.

Другим примером может служить воздействие магнитного поля контактного провода на однопроводную жилу воздушной линии связи.

Ток контактного провода I_k (рис. 16.а) течет от электровоза на тяговую подстанцию по рельсу и земле. Ввиду того, что рельс как массивный стальной проводник оказывает переменному току большое сопротивление, возрастающее с увеличением тока, будем считать, что практически весь ток I_k в обратном направлении протекает по земле, при этом образуется первый влияющий контур "контактный провод–земля".

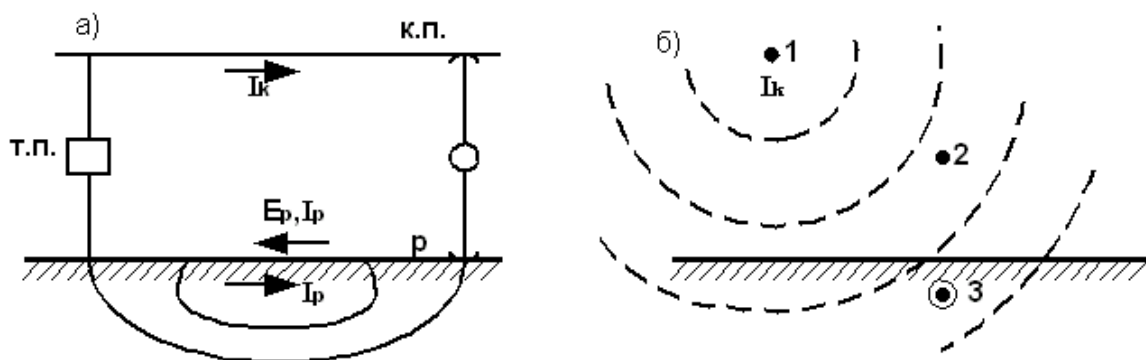


Рис. 16. Влияющие контуры контактной сети

Ток I_k наведет в рельсе на единицу длины ЭДС E_p , отстающую от тока на угол 90° (рис. 17.а) и равную

$$E_p = j\omega M_{кр} I_k = Z_{кр} \cdot I_k, \quad (14)$$

где ω – угловая частота, $M_{кр}$ – коэффициент взаимной индукции на единицу длины между контактным проводом и рельсом, $Z_{кр}$ – сопротивление взаимной индукции.

Так как в рельсе появляется ЭДС E_p , а рельс шунтирован землей, то в рельсе потечет ток I_p (индуцированный ток), отстающий от E_p на угол φ , определяемый отношением индуктивного и активного сопротивлений рельса x_p/r_{pa} . Это отношение больше 2, 3 [2], поэтому угол $\varphi > 70^\circ$. Практически ток I_p находится в противофазе току I_k и протекает по контуру "рельс–земля", который является вторым влияющим контуром.

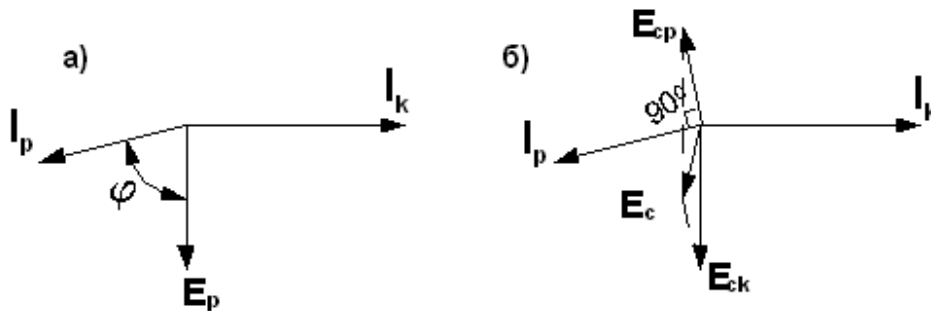


Рис. 17. Векторные диаграммы

Первый контур с током I_k наведет в проводе 2 воздушной линии ЭДС E_{ck} , (рис. 17.б)

$$E_{ck} = j\omega M_{ск} I_k, \quad (15)$$

где $M_{ск}$ – коэффициент взаимной индукции между контактным проводом и проводом 2.

Второй контур с током I_p создает в том же проводе 2 ЭДС

$$E_{cp} = j\omega M_{cp} I_p, \quad (16)$$

где M_{cp} – коэффициент взаимной индукции между рельсом и проводом 2. Как показывает рис. 17.б, результирующая E_c , наведенная в проводе 2, при

наличии рельса меньше, чем ЭДС $E_{ск}$, то есть рельс как бы экранирует воздушную линию связи. Отношение $E_c / E_{ск} = r$ называется коэффициентом экранирующего (или защитного) действия рельсовой цепи. Для двухпутных участков $r = 0,4 \times 0,6$, то есть рельсы в среднем в два раза уменьшают магнитное влияние контактного провода.

Оборудование также может быть подвержено воздействию импульсного магнитного поля, когда возникают разряды статического электричества от обслуживающего персонала на близлежащие предметы. Кроме того, разряды могут возникнуть между металлическими предметами, такими, как стулья и столы, находящиеся поблизости от оборудования. Электростатические разряды от человека могут привести к сбоям или повреждению электронных компонентов в зависимости от параметров импульса разрядного тока (амплитуда, время нарастания, длительность и т.д.). Возникновению электростатических зарядов в наибольшей степени способствуют использование синтетических покрытий и низкая относительная влажность воздуха в помещении.

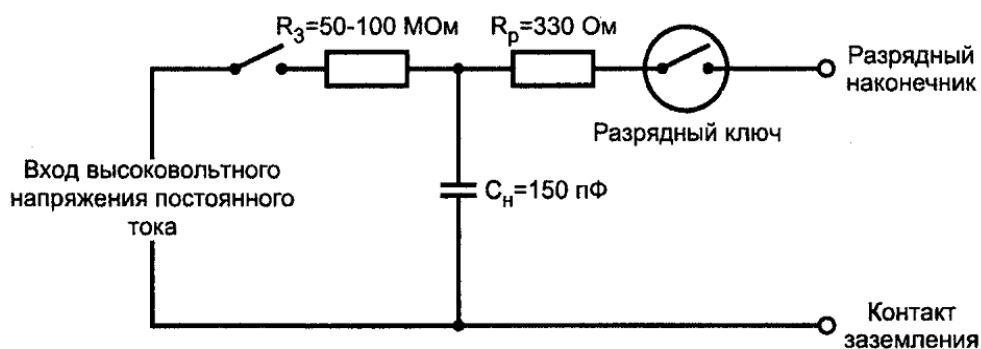


Рис. 18. Схема испытательного генератора

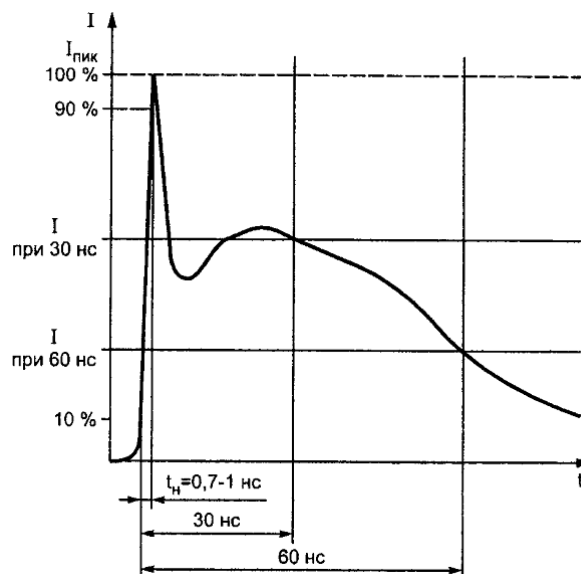


Рис. 19. Типовая форма разрядного тока на выходе ИГ

При проведении испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам процессы, возникающие при разряде, могут быть достаточно точно смоделированы испытательным генератором ИГ (рис. 18). Типовую форму импульса разрядного тока на выходе ИГ достаточно наглядно демонстрирует рис. 19.

В зависимости от степени жесткости испытаний ток первого максимума составляет 7,5...30 А при испытательном напряжении 2...8 кВ. В реальных условиях напряжения электростатического разряда, которому могут подвергаться технические средства, могут быть значительно выше в зависимости от типа синтетической ткани и относительной влажности окружающего воздуха (см. рис. 20).



Рис. 20. Максимальные значения напряжения, до которого может быть заряжен человек при контакте с различными материалами

Мероприятия по снижению индуктивного влияния:

- снижение до возможных пределов взаимной индуктивности за счет сокращения длины проводников, увеличения расстояния между сетевыми и информационными проводами, уменьшения площади контура, подвергающегося воздействию;
- уменьшение скорости изменения магнитного потока во времени при помощи короткозамкнутой петли, расположенной непосредственно у контура приемника помехи;
- расположение контуров источника и приемника индуктивной помехи ортогонально с целью уменьшения потокосцепления;

- компенсация индуктированного в контуре приемника помехи напряжения путем скрутки проводов приемника. При этом провода приемника помехи образуют несколько контуров, включенных встречно, и частичные потоки создают напряжения, направленные противоположно;
- снижение действия созданного магнитного потока путем скручивания соединительных проводов контура источника помехи. При этом создаются встречно направленные компоненты потока, а их взаимодействие на вторичный контур компенсируется;
- экранирование кабелей, соединительных проводов, модулей и приборов ферромагнитными экранами (трубами, металлическими шлангами, стальными корпусами), причем экранирующее воздействие тем сильнее, чем выше магнитная проницаемость материала и толще стенка экрана. Проводящие соединения между экраном и землей не обязательны, но необходимы для защиты персонала от воздействия напряжения прикосновения. Для ослабления воздействий, вызванных молнией, применяется ферромагнитное экранирование кабелей передачи данных и силовых кабелей, проложенных по воздуху, экраны заземляются на обоих концах.

3.4. Электромагнитное излучение

Электромагнитное излучение существует в разных формах. Видимый свет – только часть этого излучения. Другими формами являются радиоволны, СВЧ - излучение, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, рентгеновское и гамма-излучение. Все эти виды излучения распространя-

ются в вакууме со скоростью света и составляют спектр излучения. Различие между ними состоит в том, что они имеют разные частоты (рис. 21).

Классификация электромагнитных волн, принятая в России и западных странах приведена в таблице 11.

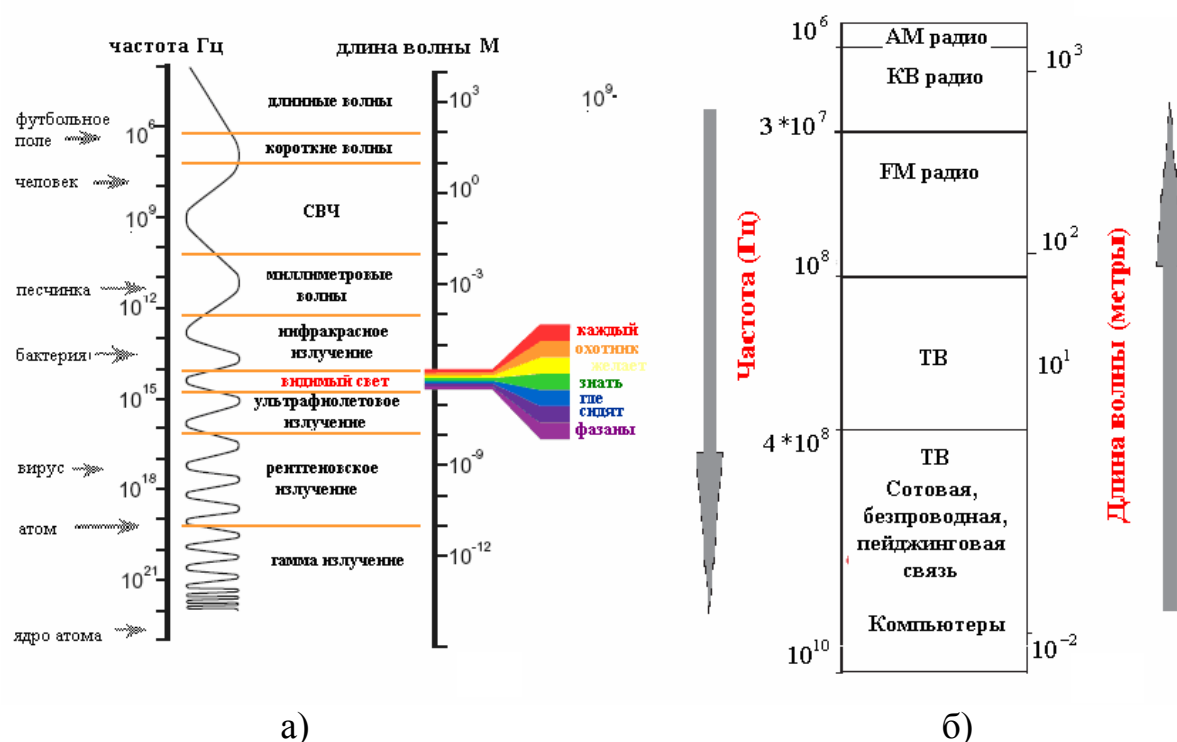


Рис. 21. Электромагнитный спектр (а) и спектр радиочастот (б)

Характер электромагнитного поля диполя в той или иной точке пространства существенно зависит от того, близко или далеко от него расположена рассматриваемая точка. В электродинамике и в теории антенн имеются соответствующие понятия – «ближнее» и «дальнее» поле. Таким образом, поле, создаваемое источником, делят на две или иногда на три зоны (рис. 22). Связано такое деление с тем, что отдельные компоненты поля имеют различную зависимость от расстояния. В основе этих оценок лежат соотношения между расстоянием от источника до приемника.

Таблица 11

**Классификация электромагнитных волн, принятая в России
и западных странах**

Диапазон частот	Диапазон длин волн	Полное и сокращенное название		Применение
3 КГц - 30 КГц	100 км - 10 км	Очень низкие (ОНЧ)	Very Low Frequency (VLF)	Служебная связь, связь с подводными лодками, радионавигация, передача метеоданных, радиоразведка полезных ископаемых
30 КГц - 300 КГц	10 км - 1 км	Низкие (НЧ)	Low Frequency (LF)	Радиовещание в диапазоне 1500 – 1600 м, радиосвязь, радионавигация
300 КГц - 3 МГц	1 км - 100 м	Средние (СЧ)	Medium Frequency (MF)	Радиовещание в диапазоне 600 – 200 м, радиосвязь, радионавигация
3 МГц - 30 МГц	100 м - 10 м	Высокие (ВЧ)	High Frequency (HF)	Радиовещание в диапазоне 75 – 16 м, радиосвязь, радионавигация, магистральные линии связи, космическая связь
30 МГц - 300 МГц	10 м - 1 м	Очень высокие (ОВЧ)	Very High Frequency (VHF)	УКВ вещание, телевидение, радиолокация, радиоастрономия, космическая связь
300 МГц - 1 ГГц	1 м - 30 см	Ультравысокие (УВЧ)	Ultra High Frequency UHF	Радиорелейная связь, телевидение, радиолокация, радионавигация, медицина, радиоразведка полезных ископаемых радиофизическими методами, радиоастрономия, космическая связь
1 ГГц - 110 ГГц	30 см - 2,7 мм		Microwaves	
1 ГГц - 3 ГГц			L-Band	
3 ГГц - 12 ГГц		Сверхвысокие (СВЧ)	S-, C-, X-Band	СВЧ - техника, радиолокация, космическая связь с помощью спутников, радиоастрономия
12 ГГц - 30 ГГц			Ku-, K-, Ka-Band	
30 ГГц - 75 ГГц		Крайне высокие (КВЧ)	V-Band	Радиоспектроскопия, радиолокация, космическая связь с помощью спутников
75 ГГц - 110 ГГц			W-Band	
110 ГГц - 300 ГГц	2,7 мм - 1 мм		Millimeter Waves	
300 ГГц - 3 ТГц	1 мм - 100 мкм	Гипервысокие (ГВЧ) (субмиллиметровые волны, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское излучение)	Sub-Millimeter Waves	Космическая связь, радиоспектроскопия, ИК - локация, связь, физические исследования, лазерная связь, связь с помощью волоконно-оптических линий, лазеры – квантовые генераторы рентгеновского излучения
	100 мкм - 2 мкм		Far Infra Red	
	2 мкм - 700 нм		Near Infra Red	
	700 нм - 400 нм		Visible	
	400 нм - 10 нм		Ultra Violet	
	Нм		X-ray gamma ray	

Вдали от источника изменяющегося во времени ЭМ поля, отношение амплитуд электрических и магнитных полей равно 377 Ом. Вблизи от источника полей это отношение может быть совершенно другим, и будет зависеть от характера источника. Область, где отношение E/H (волновое сопротивление) примерно 377 Ом, называется дальней областью, а область, где отношение значительно отличается от 377 Ом, называется ближней областью.

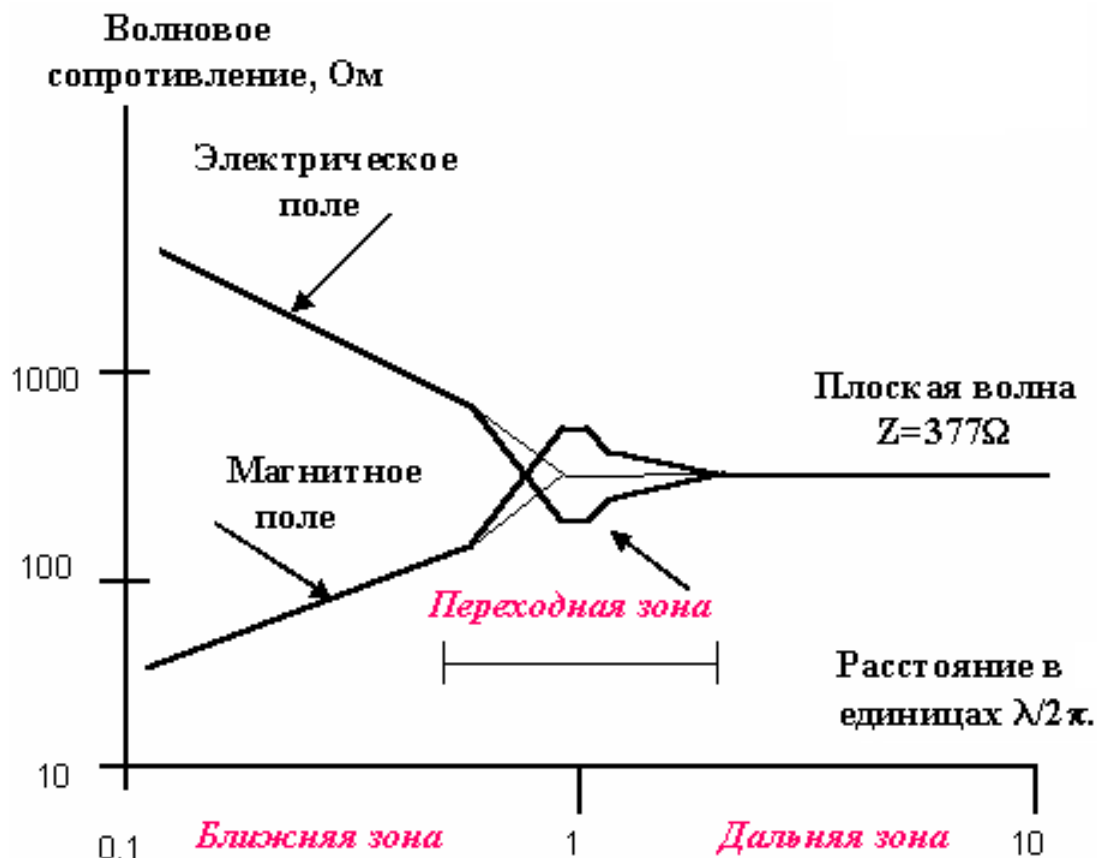


Рис. 22. Ближняя, дальняя и переходная зоны электромагнитного поля

Ближняя область составляет приблизительно одну шестую часть длины волны источника. При 1 МГц это - приблизительно 45,7 м, и при 10 МГц - приблизительно 4,57 м. Это означает что, если источник электромагнитного поля находится в пределах этих расстояний, то мы имеем дело с ближним полем. Знать это необходимо потому, что высокочастотные помехи могут определяться либо полностью электрическим полем, либо полностью магнитным полем. От характера основного поля помехи зависит выбор системы экранирования и защиты.

Защитой от электромагнитного поля служат экранирующие стенки, устанавливаемые между источником и приемником. Уменьшение напряженности поля обусловлено, с одной стороны, поглощением энергии поля

в материале экрана, а с другой - отражением падающей волны. Затухание зависит от толщины экрана, электропроводности и магнитной проницаемости материала, от частоты излучения.

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

4.1. Особенности ЭМО на энергетических и промышленных объектах

Основной вклад в ЭМО вносят, как правило, следующие виды помех [6, 10, 12, 13]:

Помехи при КЗ на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Протекание по ЗУ значительных токов КЗ в сетях высокого напряжения приводит к возникновению перепадов потенциалов в пределах ЗУ. Таким образом, значительные разности потенциалов оказываются приложенными к вторичным кабелям (как проходящим в пределах ЗУ объекта, так и выходящим за его пределы) и соответствующим входам аппаратуры. Кроме того, протекание токов КЗ в силовых ошиновках и по элементам ЗУ создает магнитное поле, амплитуда которого часто составляет сотни А/м. Это поле создает наводки на вторичные кабели в случае их сближения с трассой протекания тока КЗ. В реальности оба фактора часто действуют одновременно, вызывая значительные перенапряжения, опасные для аппаратуры и даже изоляции кабелей. Магнитное поле при КЗ опасно и для самой аппаратуры, если последняя размещается вблизи ошиновок или пути растекания тока КЗ по элементам ЗУ. При этом, случаи расположения ошиновок над зданиями общеподстанционных пунктов управления (ОПУ) с помещениями РЗА, узлов связи и т.п. достаточно типичны (рис. 23).

Помехи при грозовых разрядах. Ток молнии обычно составляет десятки и даже сотни килоампер, то есть часто превосходит ток КЗ. Важной особенностью грозовых разрядов является то, что их воздействию подвергаются отнюдь не только электростанции, подстанции и промышленные

предприятия. Обычный узел связи и управления в городской черте может оказаться не менее уязвимым. В первую очередь это касается объектов, оснащенных мачтами радиосвязи (на крыше или рядом со зданием). Обследование ряда таких объектов показало, что растекание тока молнии часто происходит по элементам систем заземления и питания информационной техники, либо вблизи от нее.



Рис. 23. Расположение силового оборудования рядом со зданием ОПУ на одной из типовых подстанций

Часто значительная часть тока молнии (в отдельных случаях до 80—100%) стекает по экранам коаксиальных кабелей непосредственно на узел связи. При расследовании причин повреждения аппаратуры в одном из ре-

гиональных диспетчерских управлений, например, было выявлено растекание тока молнии практически через все здание вблизи элементов систем связи, АСУ, сигнализации. В результате имели место массовые повреждения элементов этих систем. Причиной ряда повреждений, согласно проведенному анализу, явилось непосредственное воздействие импульсного электромагнитного поля на аппаратуру. По приближенной оценке, напряженность магнитного поля в месте размещения аппаратуры составила от 300 до 1000 А/м, что может представлять угрозу даже для специальной аппаратуры в промышленном исполнении, не говоря уже о компьютерах и АТС офисного типа.

Импульсные помехи при коммутационных операциях выключателями и разъединителями. При коммутационных операциях выключателями и разъединителями в сети высокого напряжения возникает высокочастотный переходный процесс. Параметры этого процесса индивидуальны для каждого объекта и, более того, даже для каждой конкретной коммутации. ВЧ токи и перенапряжения через системы шин распространяются по территории объекта. Они создают электромагнитные поля, способные вызывать наводки во вторичных кабелях и даже во внутренних цепях аппаратуры. Кроме того, проникновение коммутационных помех во вторичные кабели происходит через трансформаторы тока (ТТ), трансформаторы напряжения (ТН), фильтры присоединения ВЧ-связи и т.п. Особенно серьезна ситуация на компактных элегазовых подстанциях, где высоковольтное оборудование и подверженная влиянию электронная аппаратура размещаются очень близко друг к другу. В большинстве случаев, на воздушных подстанциях уровни коммутационных помех во вторичных цепях невелики – порядка нескольких сотен вольт. Такой сравнительно низкий уровень объясняется высоким затуханием помех «провод-земля» в низкочас-

тотных кабелях энергообъектов. В то же время в высокочастотных кабелях, например, в кабелях ВЧ-связи, отмечались помехи амплитудой выше 4 кВ, а амплитуды порядка 1—3 кВ являются типичными.

Следует отметить, что уровни коммутационных помех зависят от множества факторов, среди которых геометрия объекта, тип первичного оборудования, состояние заземляющего устройства, трассы прокладки вторичных цепей и т.п. Так, например, согласно сказанному выше, уровни коммутационных помех в цепях собственных нужд объектов не превышают обычно нескольких сот вольт. Однако в процессе измерений на некоторых объектах (внешне ничем не отличающихся от прочих) фиксировались помехи амплитудой более 1 кВ (рис. 24).

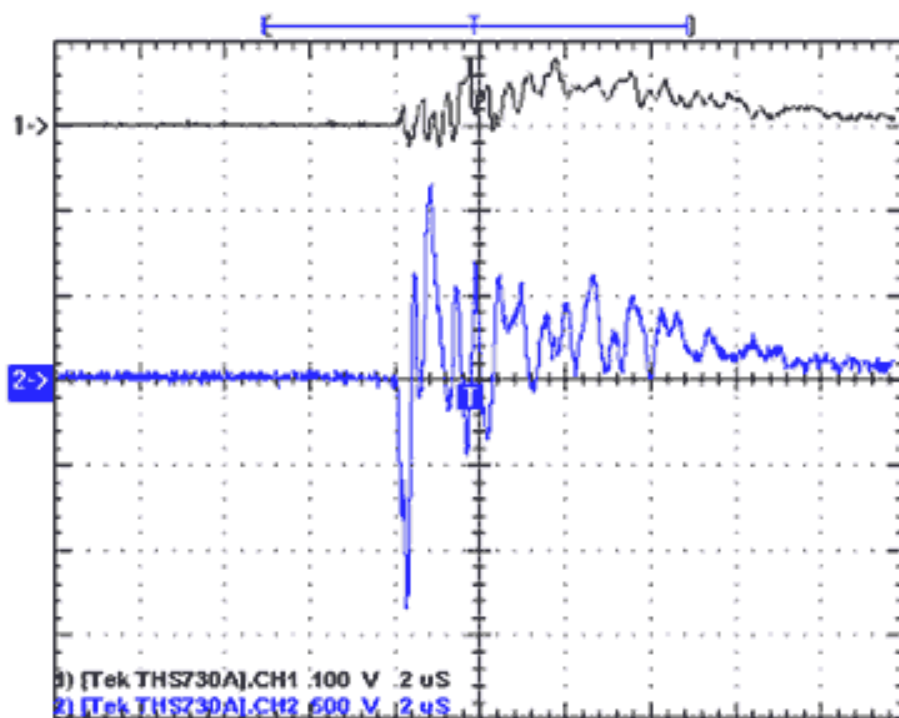


Рис. 24. Осциллограмма коммутационной помехи в цепях питания узла связи (верхняя кривая – импульсное напряжение между «нулем» и землей узла связи, одно деление по вертикали – 100 В, нижняя кривая – импульсное напряжение между фазой и нулем, цена деления по вертикали - 500 В.) Развертка по времени – 2 мкс на деление

Приведенный пример показывает, что истинный уровень коммутационных помех может быть достоверно определен лишь по результатам измерений. Поэтому измерение коммутационных помех следует рассматривать как обязательную часть комплекса оценки электромагнитной обстановки, даже если априори нет оснований предполагать, что их уровень высок.

Импульсные помехи при работе электромеханических устройств (например, реле, электроприводов и т.п.). Осциллографирование помех при коммутациях низковольтных цепей показало, что эти переключения также сопровождаются коммутационными помехами. Частоты обычно оказываются значительно выше, чем при коммутациях высоковольтного оборудования (до сотни МГц и даже выше). В частности, работа традиционных электромеханических реле может приводить к генерации помех до 2—3 кВ (рис. 25). Интересно, что высокочастотный процесс в ряде случаев сопровождается низкочастотным «всплеском».

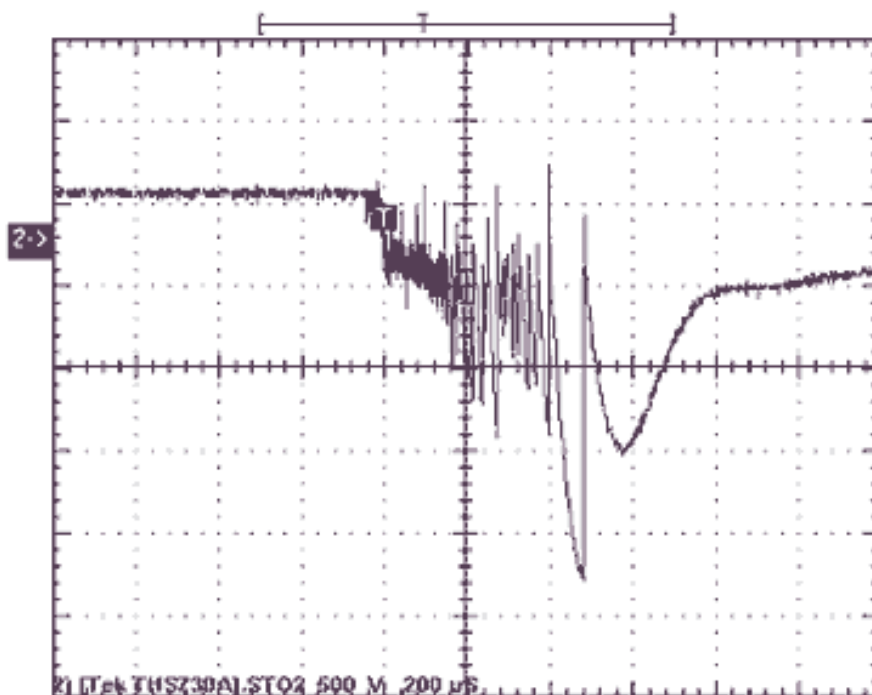


Рис. 25. Помехи при коммутации реле РП-16.

Протекание значительных токов по ЗУ в нормальном режиме работы объекта. Для многих объектов (например, тяговых ПС) протекание значительных токов через систему заземления является нормой. Иногда такая же ситуация возникает вследствие ошибок при проектировании системы собственных нужд объекта. Все это приводит к тому, что на заземляющем устройстве этих объектов постоянно присутствует значительный потенциал (ϕ). Отмечены случаи, когда этот потенциал достигал 100 В по амплитуде. Он оказывается приложенным к входам цепей связи с удаленными объектами. Воздействие такого потенциала на аппаратуру редко бывает разрушительным. Однако малейшее нарушение симметрии цепи связи и входов аппаратуры вызывает сильное повышение уровней шумов в каналах проводной связи.

Низкочастотные магнитные поля при нормальной работе силового электрооборудования. При компактном расположении силового и электронного оборудования возможно постоянное воздействие на аппаратуру полей высокого уровня. Кроме того, часто приходится сталкиваться с повышением уровня магнитного поля промышленной частоты, обусловленным ошибочной конструкцией системы собственных нужд объекта.

Амплитуда таких полей обычно слишком мала для того, чтобы вызывать сбои или отказы оборудования. Однако часто приходится сталкиваться с их негативным влиянием на дисплеи («дрожание» изображения). Это приводит к быстрой утомляемости оперативного персонала, имеющего автоматизированные рабочие места (АРМ). Кроме того, оказываются превышенными требования Санитарных правил и норм (СанПиН).

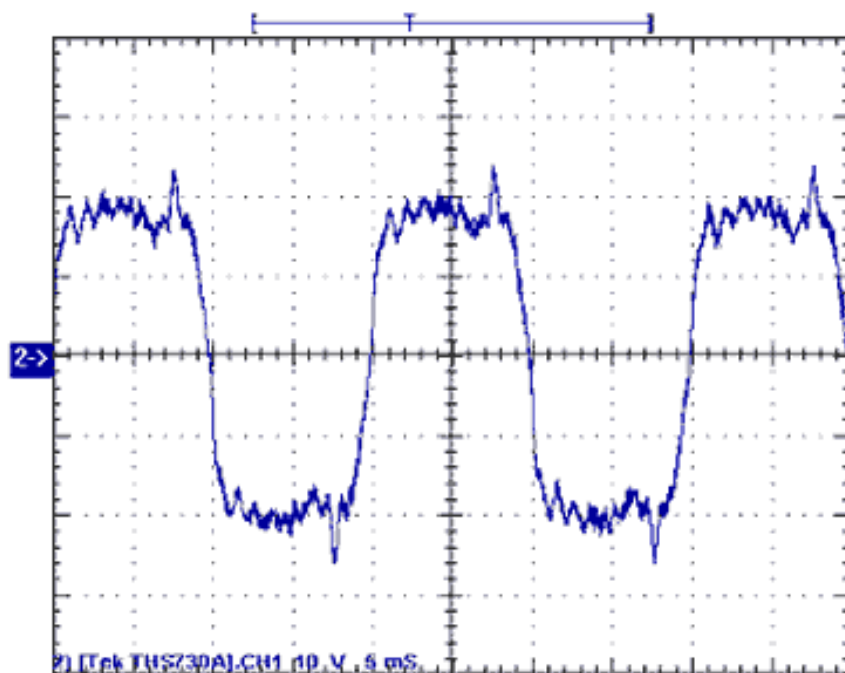


Рис. 26. Помеха на заземлении узла связи, связанном цепью нуля питания с заземляющим контуром тяговой подстанции (амплитуда – 25 В)

Высокочастотные электромагнитные поля, создаваемые радиосредствами (включая портативные радики). За последнее десятилетие были отмечены случаи сбоев в работе электронной аппаратуры на энергообъектах под действием полей радиочастотных источников.

Низкое качество напряжения питания. Чаще всего проблемы качества питания возникают на подстанциях, питающих мощную нелинейную нагрузку. Таковы, в частности, тяговые подстанции, подстанции многих промышленных предприятий и т.п. Другим распространенным источником проблем с качеством питания является использование устаревших источников бесперебойного питания (ИБП), инверторов, стабилизаторов. Опасна также перегрузка ИБП. В этом случае включение мощных потребителей способно вызывать броски напряжения питания и последующие переходные процессы с амплитудой порядка киловольт.

В большинстве случаев проблемы ЭМС объясняются:

1. *Недостаточной проработкой проектных решений в части соблюдения особых условий ЭМС.* Внимание проблеме ЭМС при проектировании энергетических и промышленных объектов, зданий и помещений управления и связи стало уделяться, в основном, лишь с середины 90-х годов.
2. *Отклонением от проекта в ходе его реализации и последующих реконструкций.* В качестве примера можно назвать, например, прокладку непредусмотренных изначально дополнительных цепей резервного питания с объектов, обладающих высоким уровнем помех на заземляющем устройстве, на узлы управления и связи.
3. *Низким качеством строительно-монтажных работ.* Пример – дефекты монтажа заземляющего устройства (от полного отсутствия сварного соединения до дефекта типа «точечной сварки» вместо сплошного шва.)
4. *Физическим и моральным старением объекта.* Например, коррозия заземляющего устройства может в течение 10 - 20 лет сделать ЭМО крайне жесткой из-за ухудшения или полной потери значительного количества связей в пределах ЗУ.
5. *Повреждением заземлителей при земляных работах, реконструкции и т.п.*

4.2. 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 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. 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. 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 притом, 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. Осциллограф с присоединенным компьютером переводится 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.

4.3. Улучшение ЭМО

По результатам оценки ЭМО разрабатываются и осуществляются защитные мероприятия, которые 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 в соответствие с современными требованиями,
 - 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. Эффективность использования таких устройств во многом определяется органи-

зацией системы заземления. В настоящее время для максимально эффективного подавления помех в системе питания принято использовать принцип зонной защиты. Он заключается в установке защитных устройств в несколько каскадов, каждый из которых рассеивает некоторую часть энергии импульса (рис. 27). В результате амплитуда помех снижается до уровней, безопасных для аппаратуры, даже не предназначенной специально для размещения на энергообъектах.

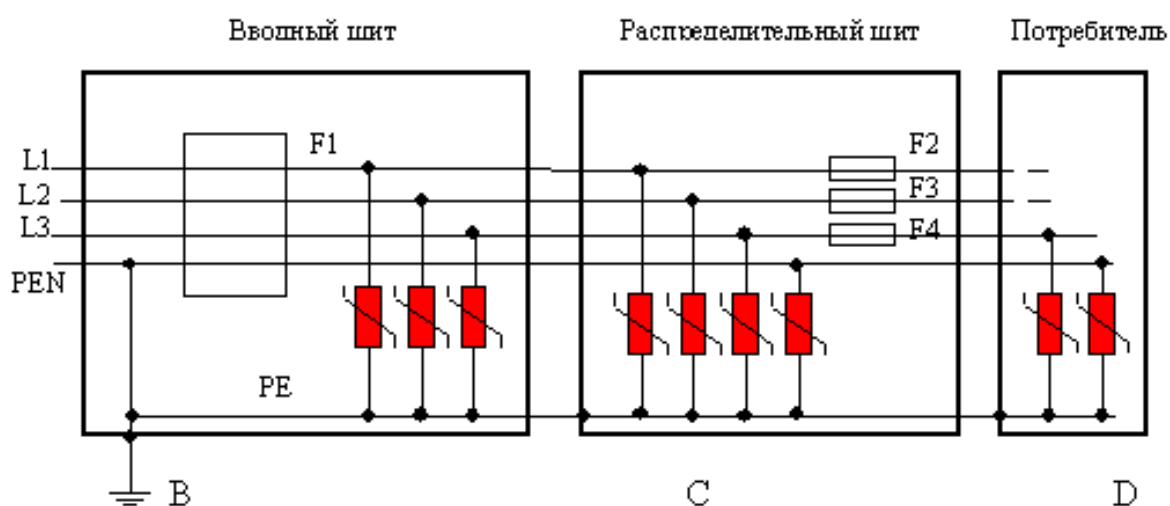


Рис. 27. Установка защитных устройств классов В, С и D (по классификации МЭК) в сети TN-C-S 220/380 В.

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.

5. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Качество электрической энергии (КЭ) наряду с надежностью, безопасностью и экономичностью является одним из обязательных требований, предъявляемым к электрическим сетям. КЭ характеризуется совокупностью свойств, показателей, нормируемых государственным стандартом ГОСТ 13109-97 «нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Нормы КЭ, устанавливаемые данным стандартом, являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех в системах электроснабжения общего назначения.

Помимо требований ЭМС в связи с выходом постановления правительства РФ №1013 от 13.08.1997 г. о включении электрической энергии в перечень товаров, подлежащих обязательной сертификации, КЭ должно соблюдаться также с точки зрения Закона РФ «О защите прав потребителей». В свете данного постановления правительства было принято совместное решение Госстандарта России и Минтопэнерго РФ «О порядке введения обязательной сертификации электрической энергии» от 03.03.1998 г., а также введен «Временный порядок сертификации электрической энергии».

5.1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

ГОСТ 13109-97 устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой

50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

При соблюдении указанных норм обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей систем электроснабжения общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии (приемников электрической энергии). Нормы, установленные ГОСТ 13109-97, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т.п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями стороны, не являющейся энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т.п.);
- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанных с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

Нормы, установленные ГОСТ 13109-97, подлежат включению в технические условия на присоединение потребителей электрической энергии и в договоры на пользование электрической энергией между электроснабжающими организациями и потребителями электрической энергии.

Нормы, установленные стандартом, применяют при проектировании и эксплуатации электрических сетей, а также при установлении уровней помехоустойчивости приемников электрической энергии и уровней кондуктивных электромагнитных помех, вносимых этими приемниками.

Нормы КЭ в электрических сетях, находящихся в собственности потребителей электрической энергии, регламентируемые отраслевыми стандартами и иными нормативными документами, не должны быть ниже норм КЭ, установленных ГОСТ 13109-97 в точках общего присоединения. При отсутствии отраслевых стандартов и иных нормативных документов нормы рассматриваемого стандарта являются обязательными для электрических сетей потребителей электрической энергии.

Установлены два вида норм КЭ: нормально допустимые и предельно допустимые. Оценка соответствия показателей КЭ указанным нормам проводится в течение расчетного периода, равного 24 часам.

ГОСТ 13109-97 устанавливает 11 показателей качества электроэнергии (таблица 12).

Таблица 12

Показатели качества электрической энергии

Показатель КЭ, единица измерения	Нормы КЭ	
	нормально допустимые	предельно допустимые
Установившееся отклонение напряжения δU_y , %	± 5	± 10
Размах изменения напряжения δU_t , %	—	Рис. 28
Доза фликера. отн. ед.: кратковременная P_{St} , о.е. длительная P_{Lt} , о.е.	—	1.38; 1,0 1.0; 0.74
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U , % $U_{ном} = 0,38$ кВ $U_{ном} = 6-20$ кВ $U_{ном} = 35$ кВ $U_{ном} = 110-330$ кВ	 8,0 5,0 4,0 2,0	 12,0 8,0 6,0 3,0
Коэффициент n-ой гармонической составляющей на- пряжения. $K_{U(n)}$, %	Таблица 13	Таблица 13
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, K_{2U} , %	2	4
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, K_{0U} , %	2	4
Отклонение частоты Δf , Гц	± 0.2	± 0.4
Длительность провала напряжения Δt_n , с	—	30
Импульсное напряжение $U_{имп}$, кВ	—	—
Коэфф. временного перенапряжения $K_{пер U}$, о.е.	—	—

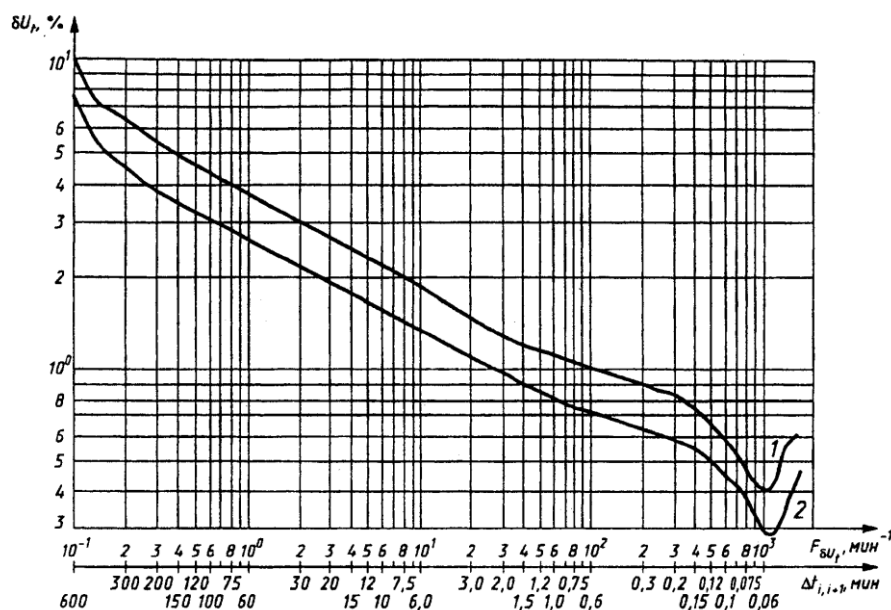


Рис. 28. Предельно допускаемые размахи изменений напряжения в зависимости от частоты повторения изменений напряжения за минуту для колебаний напряжения, имеющих форму меандра

Таблица 13

Значения коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения

Нечетные гармоники (%) не кратные 3, при $U_{ном}$, кВ					Нечетные гармоники (%) кратные 3, при $U_{ном}$, кВ					Четные гармоники (%) при $U_{ном}$, кВ				
n	0,38	6..10	35	110...330	n	0,38	6..10	35	110...330	n	0,38	6..10	35	110...330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+1,3 $\times 25/n$	0,2+0,8 $\times 25/n$	0,2+0,6 $\times 25/n$	0,2+0,2 $\times 25/n$										

При определении значений некоторых показателей КЭ используют следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

- частоту повторения изменений напряжения $F_{\delta U_t}$;
- интервал между изменениями напряжения $\delta t_{i, i+1}$;
- глубину провала напряжения δU_n ;

- частота появления провалов напряжения F_n ;
- длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$;
- длительность временного перенапряжения $\Delta t_{пер U}$.

В приложении к ГОСТ 13109-97 приведены формулы для определения показателей КЭ и вспомогательных параметров, которые используют при измерениях в условиях эксплуатации и расчете показателей КЭ при проектировании.

5.1.1. Отклонение напряжения

Отклонение напряжения наглядно может быть продемонстрировано на рис. 29.

Измерение установившегося отклонения напряжения δU_y осуществляют следующим образом.

Для каждого i -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, измеряют значение напряжения. В электрических сетях однофазного тока его определяют как действующее значение напряжения основной частоты $U_{(1)i}$ (в вольтах, киловольтах) без учета высших гармонических составляющих напряжения, а в электрических сетях трехфазного тока - как действующее значение каждого междуфазного (фазного) напряжения основной частоты $U_{(1)i}$, а также как действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты $U_{I(1)i}$, вычисляемое по формуле:

$$U_{1(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3} \cdot U_{AB(1)i} + \sqrt{4 \cdot U_{BC(1)i}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]}, \quad (17)$$

где $U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$, $U_{CA(1)i}$ - действующие значения междуфазных напряжений основной частоты в i -м наблюдении (В, кВ)

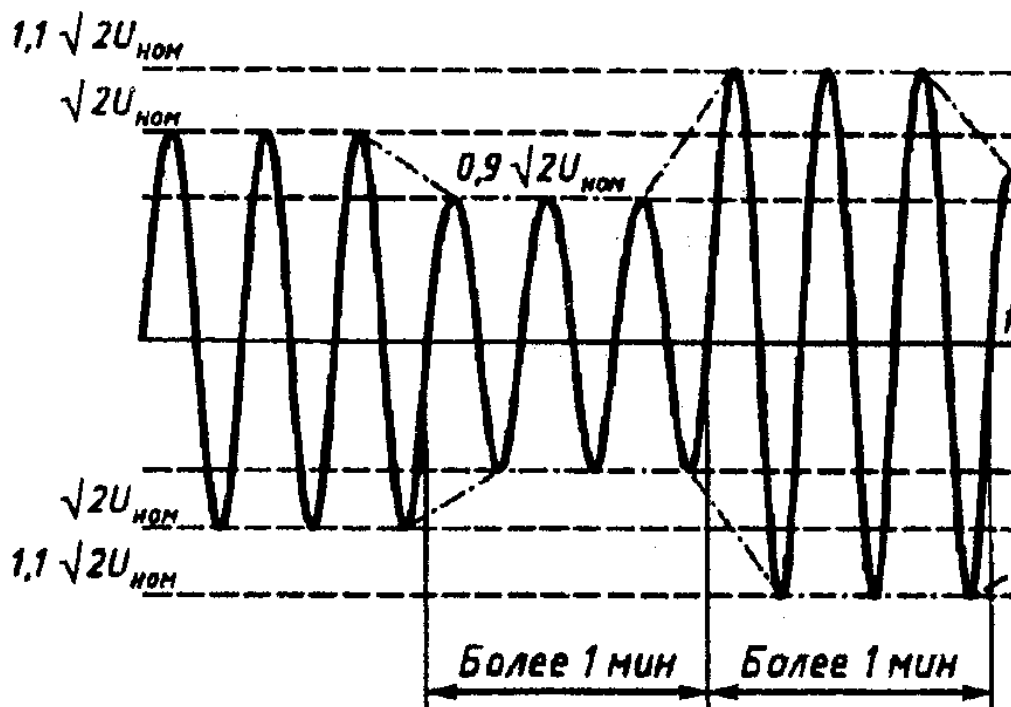


Рис. 29. Отклонение напряжения

Допускается:

- определять $U_{I(1)i}$ методом симметричных составляющих;
- определять $U_{I(1)i}$ по приближенной формуле:

$$U_{I(1)i} = \frac{1}{3}(U_{AB(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i}), \quad (18)$$

при этом относительная погрешность вычисления значений $U_{I(1)i}$ с использованием (18) вместо (17) не превышает 0,1% при коэффициенте несимметрии напряжений по обратной последовательности, не превышающем 6%;

- измерять в электрических сетях однофазного и трехфазного тока вместо действующих значений фазных и междуфазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом гармонических составляющих этих напряжений при коэффициенте искажения синусоидальности напряжения, не превышающем 5%.

Вычисляют значение усредненного напряжения U_y в вольтах, киловольтах как результат усреднения N наблюдений напряжений $U_{(I)i}$ или $U_{I(I)i}$ за интервал времени 1 мин по формуле:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}, \quad (19)$$

где U_i – значение напряжения $U_{(I)i}$ или $U_{I(I)i}$ в i -м наблюдении, В, кВ.

Число наблюдений за 1 мин должно быть не менее.

Вычисляют значение установившегося отклонения напряжения δU_y в процентах по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100. \quad (20)$$

Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения в точке общего присоединения к электрической сети считают соответствующим требованиям, если все измеренные за каждую минуту в течение установленного периода времени (24 ч) значения установившегося отклонения напряжения находятся в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, а не менее 95% измеренных за тот же период времени значений установившегося отклонения напряжения находятся в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые пределы.

При этом качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

5.1.2. Колебания напряжения

Размах изменения напряжения δU_t , в процентах (рис. 30) вычисляют по формуле:

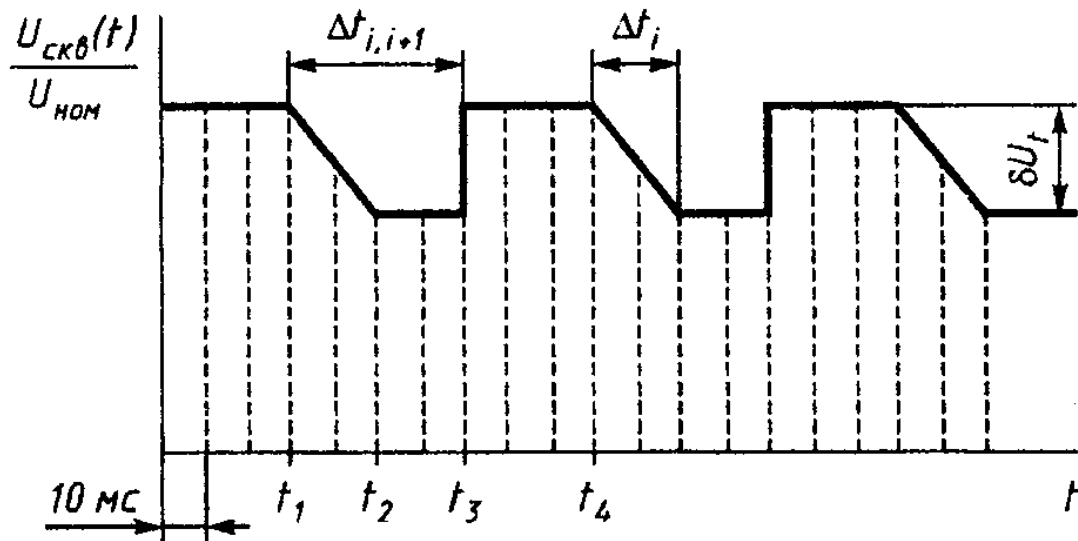
$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (21)$$

где U_i , U_{i+1} - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определенных на каждом полупериоде основной частоты, В.

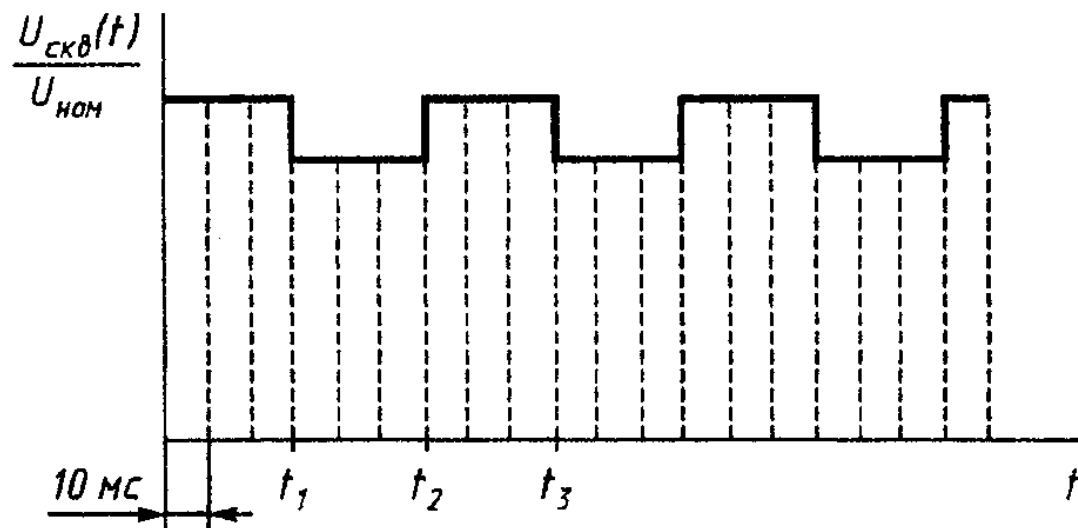
Допускается при коэффициенте искажения синусоидальности напряжения, не превышающем 5%, определять размах изменения напряжения δU_t , в процентах по формуле:

$$\delta U_t = \frac{|U_{ai} - U_{ai+1}|}{\sqrt{2} \cdot U_{ном}} \cdot 100, \quad (22)$$

где U_{ai} , U_{ai+1} - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей амплитудных значений напряжения на каждом полупериоде основной частоты, В, кВ.



а



б

Рис. 30. Колебания напряжения произвольной формы (а) и имеющие форму меандра (б)

Частоту повторения изменений напряжения $F_{\delta U_t}$ (с^{-1} , мин^{-1}) при периодических колебаниях напряжения вычисляют по формуле:

$$F_{\delta U_t} = \frac{m}{T}, \quad (23)$$

где m - число изменений напряжения за время T ; T - интервал времени измерения, принимаемый равным 10 мин.

Интервал времени между изменениями напряжения $\delta t_{i,i+1}$ в секундах или минутах (рис. 30) вычисляют по формуле:

$$\delta t_{i,i+1} = t_{i+1} - t_i, \quad (24)$$

где t_i , t_{i+1} - начальные моменты следующих один за другим изменений напряжения, с, мин.

Если интервал времени между окончанием одного изменения и началом следующего, происходящего в том же направлении, менее 30 мс, то эти изменения рассматривают как одно.

Качество электрической энергии в точке общего присоединения при периодических колебаниях напряжения, имеющих форму меандра, считают соответствующим требованиям настоящего стандарта, если измеренное значение размаха изменений напряжения не превышает значений, определяемых по кривым (рис. 28) для соответствующей частоты повторения изменений напряжения $F_{\delta U_t}$ или интервала между изменениями напряжения $\delta t_{i,i+1}$.

Определение соответствия качества электрической энергии требованиям стандарта для периодических и непериодических колебаний напряжения, имеющих форму, отличную от меандра, осуществляют в соответствии с приложением «В» ГОСТ 13109-97.

Дозу фликера (кратковременную и длительную) при колебаниях напряжения любой формы определяют следующим образом.

- Измеряют с помощью фликерметра за интервал времени T_{sh} , равный 10 мин, уровни фликера P , (%), соответствующие интегральной вероятности, равной 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80,0%.
- Определяют с помощью фликерметра или вычисляют сглаженные уровни фликера P_s , (%), по формулам:

$$\begin{aligned}
P_{1s} &= \frac{1}{3}(P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}), \\
P_{3s} &= \frac{1}{3}(P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}), \\
P_{10s} &= \frac{1}{3}(P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}), \\
P_{50s} &= \frac{1}{3}(P_{30} + P_{50} + P_{80}),
\end{aligned} \tag{25}$$

где $P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ - сглаженные уровни фликера при интегральной вероятности, равной 1,0; 3,0; 10,0; 50,0 соответственно.

- Определяют с помощью фликерметра или вычисляют кратковременную дозу фликера P_{st} , отн. ед., на интервале времени T_{sh} по формуле:

$$P_{st} = \sqrt{(0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1s} + 0,0657 \cdot P_{3s} + 0,28 \cdot P_{10s} + 0,08 \cdot P_{50s})} \tag{26}$$

Кратковременная доза фликера при периодических колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра, может быть определена путем расчета в соответствии с приложением «В» ГОСТ 13109-97.

- Определяют с помощью фликерметра или вычисляют длительную дозу фликера P_{Lt} , отн. ед., на интервале времени T_L , равном 2 ч, по формуле

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} P_{stk}^3}, \tag{27}$$

где P_{stk} - кратковременная доза фликера на k -ом интервале времени T_{sh} в течение длительного периода наблюдения T_L .

Качество электрической энергии по дозе фликера считают соответствующим требованиям стандарта, если каждая кратковременная и длительная дозы фликера, определенные путем измерения в течение 24 ч или расчета по приложению «В» ГОСТ 13109-97, не превышают предельно допустимых значений.

5.1.3. Несинусоидальность напряжения

Измерение коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{(n)i}$ осуществляют для междуфазных (фазных) напряжений.

- Для каждого i -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, определяют действующее значение напряжения n -ой гармоники $U_{(n)i}$ в вольтах, киловольтах.
- Вычисляют значение коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)i}$ в процентах как результат i -го наблюдения по формуле:

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{(1)i}} \cdot 100, \quad (28)$$

где $U_{(n)i}$ - действующее значение напряжения основной частоты на i -ом наблюдении в вольтах, киловольтах.

Допускается вычислять данный показатель КЭ по формуле

$$K_{U(n)i} = \frac{U_{(n)i}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (29)$$

- Вычисляют значение коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ в процентах как результат усреднения N наблюдений $K_{U(n)i}$ на интервале времени T_{vs} , равном 3 с, по формуле:

$$K_{U(n)i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U(n)i})^2}{N}}. \quad (30)$$

Качество электрической энергии по коэффициенту n -ой гармонической составляющей напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов n -ой гармонической составляющей напряжения не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента n -ой гармонической составляющей напря-

жения, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые значения.

При этом качество электрической энергии по коэффициенту n -ой гармонической составляющей напряжения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

Измерение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_U осуществляют для междуфазных (фазных) напряжений.

- Для каждого i -го наблюдения за установленный период времени определяют действующие значения гармонических составляющих напряжения в диапазоне гармоник от 2-й до 40-й в вольтах, киловольтах.
- Вычисляют значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_{Ui} в процентах как результат i -го наблюдения по формуле

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_{(1)i}} \cdot 100. \quad (31)$$

При определении данного показателя КЭ допускается: не учитывать гармонические составляющие, значения которых менее 0,1%, вычислять данный показатель КЭ по формуле:

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (32)$$

При этом, относительная погрешность определения K_{Ui} с использова-

нием (32) вместо (31) численно равна значению отклонения напряжения $U_{(1)i}$, от $U_{ном}$.

- Вычисляют значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_U в процентах как результат усреднения N наблюдений K_{Ui} на интервале времени T_{vs} , равном 3 с, по формуле:

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{Ui})^2}{N}}. \quad (33)$$

Число наблюдений N должно быть не менее.

Качество электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые значения.

При этом качество электрической энергии по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

5.1.4. Несимметрия напряжения

Измерение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} для междуфазных напряжений осуществляют следующим образом.

- Для каждого i -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, измеряют одновременно действующие значения междуфазных напряжений по основной частоте $U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$, $U_{CA(1)i}$ в вольтах, киловольтах.
- Вычисляют действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты $U_{2(1)i}$ по формуле:

$$U_{2(1)i} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3} \cdot U_{AB(1)i} - \sqrt{4 \cdot U_{BC(1)i}^2 - \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} + U_{AB(1)i} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2 \right]}, \quad (34)$$

- Вычисляют коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2Ui} в процентах как результат i -го наблюдения по формуле:

$$K_{2Ui} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100, \quad (35)$$

где $U_{2(1)i}$ - действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений в i -ом наблюдении, В, кВ; $U_{1(1)i}$ - действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты в i -ом наблюдении, В, кВ.

При определении K_{2Ui} допускается:

- 1) определять $U_{2(1)i}$ методом симметричных составляющих;
- 2) вычислять $U_{2(1)i}$ по приближенной формуле:

$$K_{2Ui} = 0,62 (U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}), \quad (36)$$

где $U_{нб(1)i}$, $U_{нм(1)i}$ - наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений основной частоты в i -ом наблюдении,

В, кВ.

При этом относительная погрешность определения K_{2Ui} с использованием (36) вместо (35) не превышает 8%;

3) применять при вычислении $U_{2(1)i}$ вместо действующих значений междуфазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом гармонических составляющих этих напряжений при коэффициенте искажения синусоидальности напряжения, не превышающем 5%;

4) вычислять K_{2Ui} по формуле

$$K_{2Ui} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{ном.мф}} \cdot 100, \quad (37)$$

где $U_{ном.мф}$ - номинальное значение междуфазного напряжения, В, кВ.

При этом относительная погрешность определения K_{2Ui} с использованием (37) вместо (35) численно равна значению отклонения напряжения $U_{1(1)i}$ от $U_{ном.мф}$.

Вычисляют значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} процентах как результат усреднения N наблюдений K_{2Ui} на интервале времени T_{vs} , равном 3 с, по формуле:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{2Ui})^2}{N}}. \quad (38)$$

Число наблюдений N должно быть не менее 9.

Качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента несимметрии напряжений

по обратной последовательности, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые значения.

При этом качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

Измерение **коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности** K_{0Ui} проводят в четырехпроводных сетях следующим образом.

- Для каждого i -го наблюдения за период времени, равный 24 ч, измеряют одновременно действующие значения трех междуфазных и двух фазных напряжений основной частоты $U_{AB(1)i}$, $U_{BC(1)i}$, $U_{CA(1)i}$, $U_{A(1)i}$, $U_{B(1)i}$, вольтмах, киловольтмах.
- Определяют действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты $U_{0(1)i}$ в i -ом наблюдении по формуле

$$U_{2(1)i} = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} - 3 \cdot \frac{U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right]^2 + \left[\sqrt{4 \cdot U_{BC(1)i}^2 - \left(U_{AB(1)i} - \frac{U_{BC(1)i}^2 - U_{CA(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} - 3 \sqrt{4 \cdot U_{B(1)i}^2 - \left(U_{AB(1)i} - \frac{U_{B(1)i}^2 - U_{A(1)i}^2}{U_{AB(1)i}} \right)^2} \right]^2}. \quad (39)$$

- Вычисляют коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности K_{0Ui} в процентах как результат i -го наблюдения по фор-

муле:

$$K_{0Ui} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{0(1)i}}{U_{1(1)i}} \cdot 100. \quad (40)$$

При определении K_{0Ui} , допускается:

- 1) определять $U_{0(1)i}$ методом симметричных составляющих;
- 2) вычислять $U_{0(1)i}$ при симметрии междуфазных напряжений по приближенной формуле

$$K_{2Ui} = 0,62(U_{нб.ф(1)i} - U_{нм.ф(1)i}), \quad (41)$$

где $U_{нб.ф(1)i}$, $U_{нм.ф(1)i}$ - наибольшее и наименьшее из трех действующих значений фазных напряжений основной частоты в i -ом наблюдении, В, кВ.

При этом относительная погрешность определения $K_{0(1)i}$ с использованием (41) вместо (40) не превышает $\pm 10\%$;

- 3) применять вместо действующих значений междуфазных и фазных напряжений основной частоты действующие значения соответствующих напряжений с учетом всех гармонических составляющих этих напряжений при коэффициенте искажения синусоидальности кривых напряжений, не превышающем 5%;
- 4) вычислять K_{0Ui} по формуле

$$K_{0Ui} = \frac{U_{0(1)i}}{U_{ном.ф}} \cdot 100, \quad (42)$$

где $U_{ном.ф}$ - номинальное значение фазного напряжения, В, кВ.

При этом относительная погрешность определения K_{0Ui} с использованием (42) вместо (40) численно равна значению отклонения напряжения $U_{1(1)i}$ от $U_{ном.ф}$.

- Вычисляют значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} процентах как результат усреднения N наблюдений K_{0Ui} на интервале времени T_{vs} , равном 3 с, по формуле

$$K_{0U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{0Ui})^2}{N}}. \quad (43)$$

Число наблюдений N должно быть не менее 9.

Качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если наибольшее из всех измеренных в течение 24 ч значений коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой последовательности не превышает предельно допустимого значения, а значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, соответствующее вероятности 95% за установленный период времени, не превышает нормально допустимого значения.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые значения.

При этом качество электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допустимые значения - 0% от этого периода времени.

5.1.5. Отклонение частоты

Измерение отклонения частоты Δf осуществляют следующим образом.

Для каждого i -го наблюдения за установленный период времени из-

меряют действительное значение частоты f_i в герцах.

Вычисляют усредненное значение частоты f_y в герцах как результат усреднения N наблюдений f_i на интервале времени, равном 20 с, по формуле

$$f_y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}. \quad (44)$$

Число наблюдений N должно быть не менее 15.

Вычисляют значение отклонения частоты Δf в герцах по формуле

$$\Delta f = f_y - f_{ном}. \quad (45)$$

где $f_{ном}$ - номинальное значение частоты, Гц.

Качество электрической энергии по отклонению частоты считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если все измеренные в течение 24 ч значения отклонений частоты находятся в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, а не менее 95% всех измеренных значений отклонения частоты находятся в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями.

Дополнительно допускается определять соответствие нормам стандарта по суммарной продолжительности времени выхода измеренных значений данного показателя за нормально и предельно допустимые значения.

При этом качество электрической энергии по отклонению частоты считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5% от установленного периода времени, т.е. 1 ч 12 мин, а за предельно допускаемые значения - 0%.

5.1.6. Провал напряжения

Измерение **длительности провала напряжения** Δt_n в секундах (рис. 31) осуществляют следующим образом:

Фиксируют начальный момент времени t_n резкого спада (с длительностью менее 10 мс) огибающей среднеквадратических значений напряжения, определенных на каждом полупериоде основной частоты, ниже уровня $0,9 U_{ном}$.

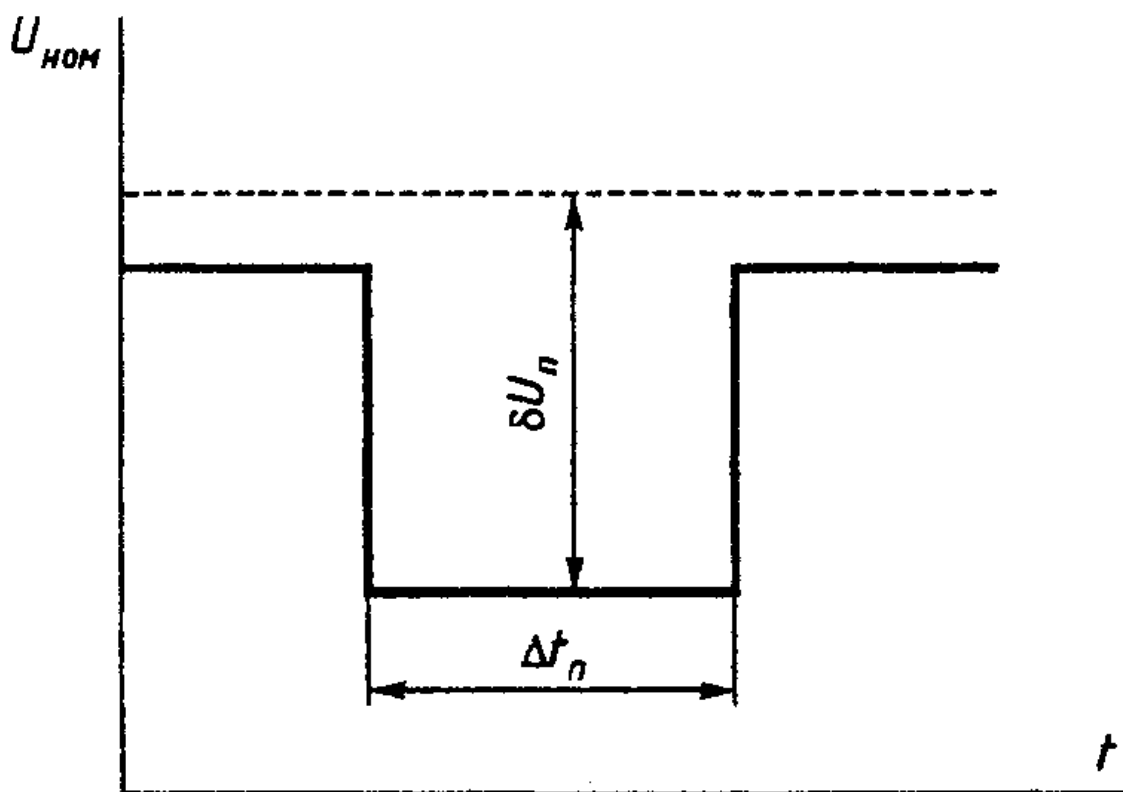


Рис. 31. Провал напряжения

Фиксируют конечный момент времени t_k восстановления среднеквадратического значения напряжения до $0,9 U_{ном}$.

Вычисляют длительность провала напряжения Δt_n в секундах по

формуле:

$$\Delta t_n = t_k - t_n. \quad (46)$$

Качество электрической энергии по длительности провалов напряжения в точке общего присоединения считают соответствующим требованиям ГОСТ 13109-97, если наибольшее из всех измеренных в течение продолжительного периода наблюдения (как правило, в течение года) длительностей провалов напряжения не превышает предельно допустимого значения.

Допускается определять максимально возможную длительность провала в точке присоединения к электрической сети путем расчета суммарной выдержки времени устройств релейной защиты, автоматики и коммутационных аппаратов, установленных в соответствующих электрических сетях энергоснабжающей организации. Если найденная таким способом длительность провала напряжения не превышает предельно допустимого значения, то качество электрической энергии по длительности провалов напряжения считают соответствующим требованиям.

Глубину провала напряжения δU_n в процентах (рис. 31) определяют следующим образом.

Измеряют среднеквадратичные значения напряжения U за каждый полупериод основной частоты во время провала напряжения в вольтах, киловольтах.

Определяют минимальное из всех измеренных среднеквадратичных значений напряжения U_{min} , в вольтах, киловольтах.

Вычисляют глубину провала напряжения δU_n в процентах по формуле:

$$\delta U_n = \frac{U_{ном} - U_{min}}{U_{ном}} \cdot 100. \quad (47)$$

Частоту появления провалов напряжения F_n в процентах вычис-

ляют по формуле:

$$F_n = \frac{m(\delta U_n, \Delta t_n)}{M} \cdot 100, \quad (48)$$

где $m(\delta U_n, \Delta t_n)$ - число провалов напряжения глубиной δU_n и длительностью Δt_n за период времени наблюдения T ; M - суммарное число провалов напряжения за период времени наблюдений T .

5.1.7. Импульс напряжения

Импульсное напряжение $U_{имп}$ в вольтах, киловольтах (рис. 32) измеряют как максимальное значение напряжения при резком его изменении (длительность фронта импульса не более 5 мс).

Длительность импульса напряжения по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$ в микросекундах, миллисекундах (рис. 32) измеряют следующим образом.

Выделяют из общей кривой напряжения импульс напряжения и определяют амплитуду этого импульса $U_{имп.а}$ в вольтах, киловольтах как максимальное значение импульса напряжения (рис. 32).

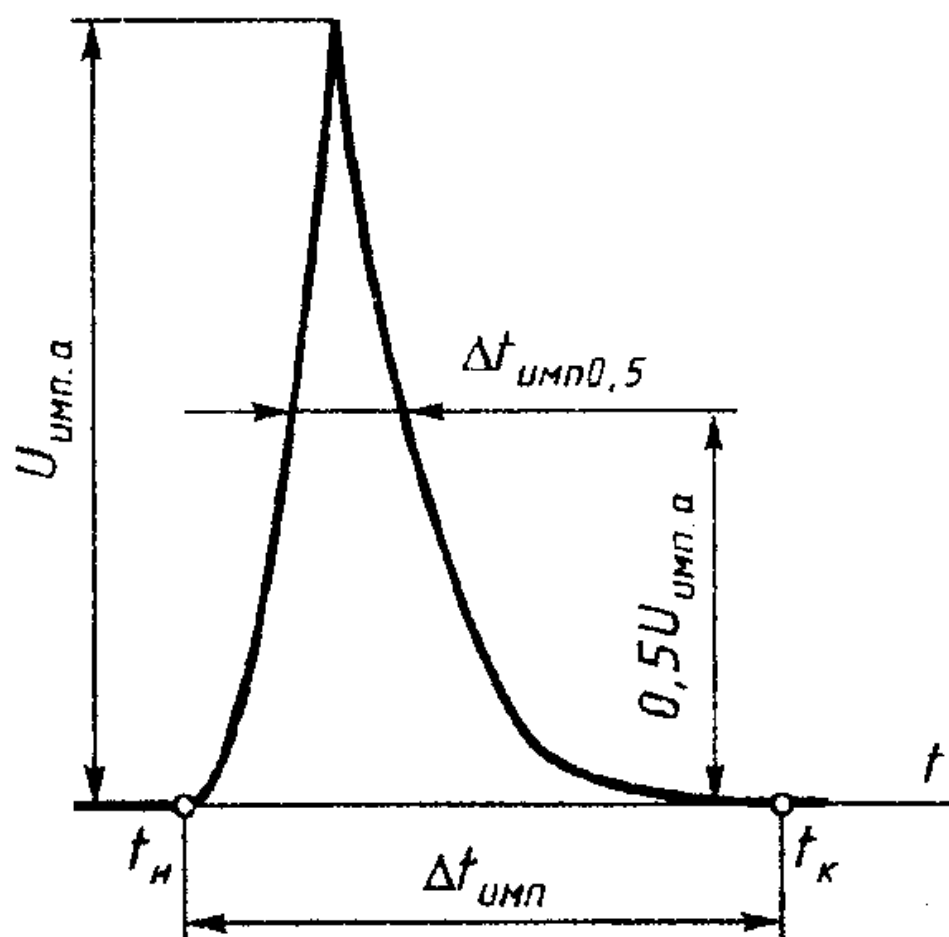
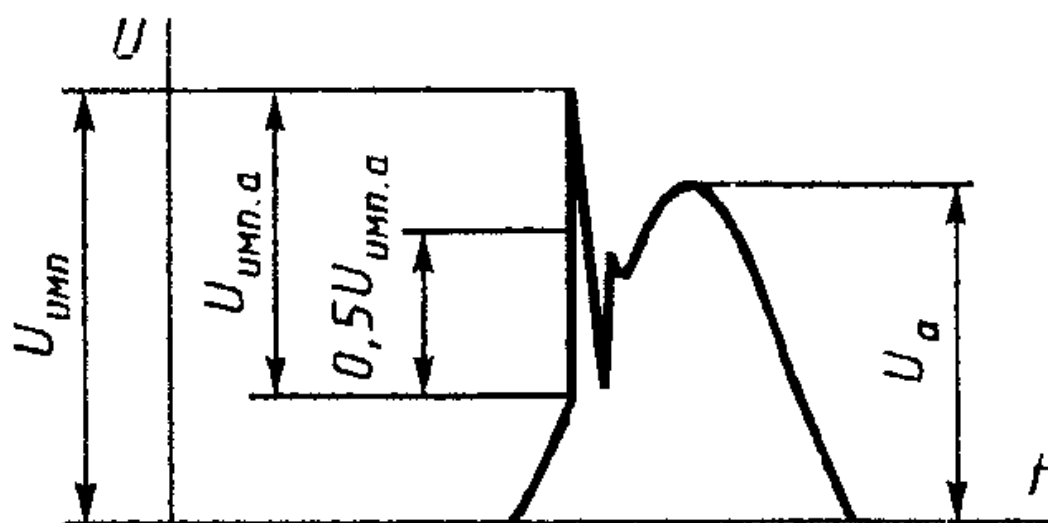


Рис. 32. Параметры импульсного напряжения

Определяют моменты времени $t_{н0,5}$, $t_{к0,5}$ в микросекундах, миллисекундах (рис. 32), соответствующие пересечению кривой импульса напряжения горизонтальной линией, проведенной на половине амплитуды импульса, в микросекундах, миллисекундах.

Вычисляют $\Delta t_{имп0,5}$ по формуле

$$\Delta t_{имп0,5} = t_{к0,5} - t_{н0,5}. \quad (49)$$

5.1.8. Временное перенапряжение

Измерение коэффициента временного перенапряжения $K_{пер\ U}$ в относительных единицах (рис. 33) осуществляют следующим образом:

Измеряют амплитудные значения напряжения U_a в вольтах, киловольтах на каждом полупериоде основной частоты при резком (длительность фронта до 5 мс) превышении уровня напряжения, равного $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ном}$.

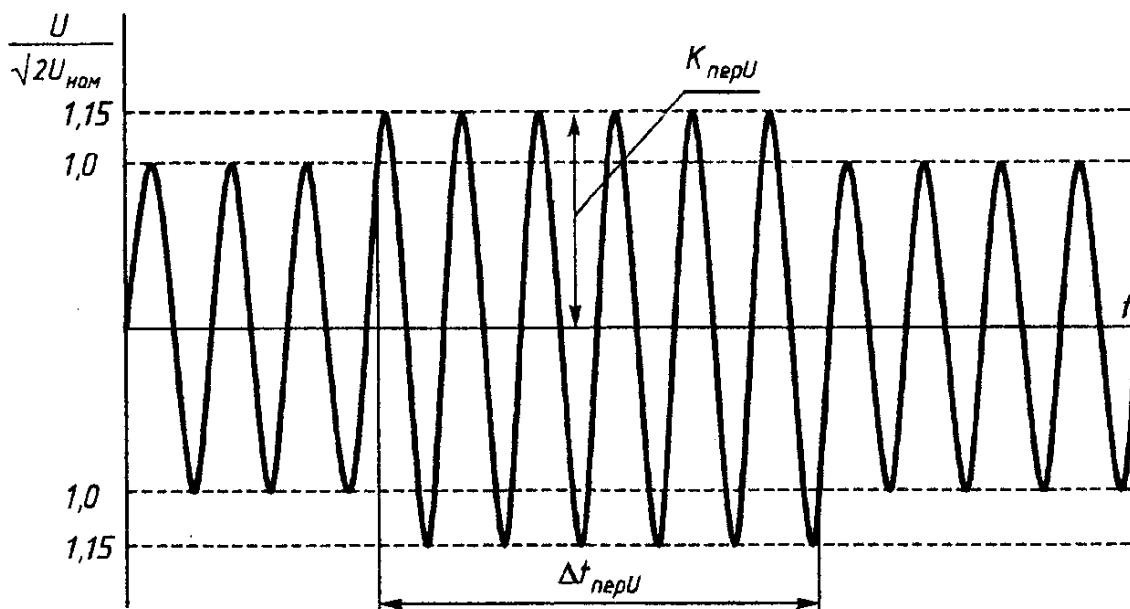


Рис. 33. Временное перенапряжение

Определяют максимальное из амплитудных значений напряжения $U_{a\ max}$.

С целью исключения влияния коммутационного импульса на значение коэффициента временного перенапряжения определение $U_{a\ max}$ осуществляют через 0,04 с от момента превышения напряжением уровня, равного $1,1 \cdot U_{ном}$.

Вычисляют коэффициент временного перенапряжения по формуле

$$K_{пер\ U} = \frac{U_{a\ max}}{\sqrt{2} \cdot U_{ном}}. \quad (50)$$

Длительность временного перенапряжения $\Delta t_{пер\ U}$ в секундах определяют следующим образом.

Фиксируют момент времени $t_{н\ пер}$ превышения действующим значением напряжения уровня, равного $1,1 \cdot U_{ном}$, и момент времени $t_{к\ пер}$ спада напряжения до уровня $1,1 \cdot U_{ном}$.

Вычисляют $\Delta t_{пер\ U}$ в секундах по формуле:

$$\Delta t_{пер\ U} = t_{к\ пер} - t_{н\ пер}. \quad (51)$$

5.2. Процессы и явления в электрических сетях, вызывающие нарушение показателей качества электрической энергии

Увеличение количества и повышение установленной мощности электроприемников с нелинейным и несимметричным характером нагрузок, появление новых электротехнических установок в промышленности, сельском хозяйстве и быту, привели к тому, что искаженные режимы стали характерной и неотъемлемой чертой работы современной системы электроснабжения (СЭС) [7, 8]. При этом нарушение норм ГОСТ 13109-97 возможно как со стороны энергоснабжающей организации, так и по вине потребителей (таблица 14).

Показатели Δf и δU_y зависят от баланса активной и реактивной мощностей в энергосистеме и потому поддержание их в допустимых пределах возлагается на энергоснабжающие организации. Кроме того, сама сеть является прямым виновником провалов напряжения, импульсов и кратковременных перенапряжений. Можно сказать, что чем меньше глубина, длительность и частота провалов напряжения, тем выше уровень надежности электроснабжения. Провал напряжения - неизбежное явление для сети любого напряжения - приводит к мгновенным последствиям, тем более значимым, чем больше их глубина и длительность.

Таблица 14

***Наиболее вероятные виновники ухудшения
качества электрической энергии***

Свойства электрической энергии	Показатель КЭ	Наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ
Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения, δU_y	Энергоснабжающая организация
Колебание напряжения	Размах изменения напряжения, δU_t Доза фликера, P_t	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, K_U Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения, $K_{U(n)}$	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, K_{2U} Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, $K_{U(n)}$	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты, Δf	Энергоснабжающая организация
Провал напряжения	Длительность провала напряжения, Δt_n	Энергоснабжающая организация
Импульс напряжения	Импульсное напряжение, $U_{имп}$	Энергоснабжающая организация
Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения, $K_{перU}$	Энергоснабжающая организация

Причиной, вызывающей несинусоидальность, несимметрию, колебания и отклонения напряжения, является тот или иной вид ЭП. Характеристика ЭП отвечает требованиям определенного технологического процесса (производства) в промышленности, на транспорте, коммунально-бытовом секторе.

5.2.1. Причины отклонения частоты в энергосистеме

Частота переменного тока в электрической системе f определяется скоростью вращения генераторов электростанций. Номинальное значение частоты (50 Гц) в электрической системе может быть обеспечено при условии наличия резерва активной мощности. В каждый момент времени в электрической системе должно быть обеспечено равенство между мощностью генераторов электростанций и мощностью, потребляемой нагрузкой, с учетом потерь мощности в элементах электрической сети. В случае увеличения мощности нагрузки она должна покрываться за счет имеющегося резерва мощности. При исчерпании резервов активной мощности частота токов и напряжений в электрической системе будет меньше номинальной. При этом, осуществление регулирования частоты в системе возможно только при наличии резерва активной мощности. Ввод резервной активной мощности возможен в системе за счет дополнительного расхода энергоносителя первичного двигателя (турбины) энергоустановки питающей энергосистемы.

5.2.2. Причины отклонения напряжения

Нормальное функционирование энергосистем и объединенных энергосистем (ОЭС) зависит от уровней напряжения в отдельных узлах схемы. Результаты экспериментальных измерений показали, что уровни напряжения, и, как следствие, отклонения напряжения δU_y в отдельных узлах электрических сетей 110-500 кВ ЕЭС России не соответствуют допустимым в нормальной эксплуатации пределам.

Большие отклонения напряжения в питающей сети возникают при работе мощных (по отношению к мощности КЗ) потребителей электроэнергии, нагрузка которых имеет резкопеременный характер. К таким потребителям следует отнести вентильные преобразователи, тяговые подстанции, дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты и др. При передаче электроэнергии от ее источников до таких приемников суммарные потери напряжения получаются весьма большими. При изменении нагрузок от наибольших до наименьших значений суммарные потери напряжения также изменяются. В результате этого на зажимах ЭП имеют место также значительные изменения напряжения, которые могут превышать допустимые значения

Для обеспечения требований, предъявляемых к качеству напряжения ЭП, значения напряжений в каждой точке электрической сети должны находиться в определенных допустимых пределах. Практически без специальных регулирующих устройств допустимый режим напряжений может быть обеспечен только в условиях, когда суммарные потери напряжения сравнительно невелики. Такие условия могут быть в сетях относительно небольшой протяженности и с малым числом промежуточных трансформаций.

5.2.3. Источники колебания напряжения

Размахи изменения напряжения, следующие друг за другом, создают колебания напряжения. Известно, что нормирование колебаний напряжения производится по степени воздействия на зрение человека. Процесс зрительного восприятия колебаний (фликера) начинается с верхнего предела частоты колебаний напряжения порядка 35 Гц при изменениях напряжения менее 10%. Экспериментально доказано, что наиболее раздражающее действие мигания света наступает у человека при частоте мигания, равной 8,8 Гц, при определенной величине размаха напряжения. Длительность воздействия колебаний напряжения при этом составляет 10 мин.

Источниками колебаний напряжения в современных электрических системах являются мощные ЭП, характеризующиеся импульсным, резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощностей.

Для таких ЭП характерны следующие условия электропотребления:

1. их питание осуществляется от шин напряжением 35 - 220 кВ;
2. значительные изменения потребляемой активной P и реактивной Q мощности, равной (10-130) % P , с высокой скоростью в течение суток;
3. наличие у токоприемников нелинейных элементов. К таким ЭП относятся в приоритетном порядке по степени воздействия на этот показатель:
 - дуговые сталеплавильные печи (ДСП);
 - руднотермические печи;
 - электродвигатели большой мощности (в частности, прокатных станов);
 - индукционные печи;

- машины контактной сварки;
- преобразователи электролизных установок;
- синхронные двигатели;
- приводы насосов и компрессоров в распределительных сетях.

Так, при работе печи ДСП-100 на напряжении 35 кВ величина δU в сети составляет (4,3-8,2)% при $\cos\varphi = 0,1-0,3$ в период расплава металла и $\cos\varphi = 0,7-0,8$ - в остальном режиме. При этом частота колебаний напряжения составляет 8,3 Гц

5.2.4. Источники искажения синусоидальности кривой напряжения

Источниками гармонических искажений в электрических системах являются в основном нагрузки, обладающие нелинейными характеристиками:

- дуговые сталеплавильные печи;
- вентильные преобразователи;
- трансформаторы с нелинейными вольт-амперными характеристиками;
- преобразователи частоты;
- индукционные печи;
- вращающиеся электрические машины, питаемые через вентильные преобразователи;
- телевизионные приемники;
- люминесцентные лампы;
- ртутные лампы.

Последние три источника создают при своей работе невысокий уровень гармонических искажений на выходе, но их общее количество велико. Эффект наложения искажений приводит к их значительному уровню, даже в сетях высоких напряжений. Величина K_U в сетях 230 кВ за счет работы телевизионных приемников может достигать 1%.

Характеристики некоторых типичных источников искажений кривой напряжения представлены в таблице 15.

Таблица 15

Источники несинусоидальности кривой напряжения

Тип ЭП	U, кВ	K_U , %	Порядок генерируемых гармоник
ДСП- 100	220 35	2,5 8-10	50% времени K_U превышает требования ГОСТ 13109-97
ДСП-40	110 35	2,1 7,8	50% времени K_U превышает требования ГОСТ 13109-97
Прокатный стан 1700	10	13,2	$v=3-5$
Блюминг 1 150	110 10,5	1,95 13,1-14,7	$v=5-17$ $v=5-17$
Выпрямители электролизных установок	10 0,38	8,3-12 6-8	$v=5-17$ $v=5-17$
Приводы мощных насосов	6	6-9	$v=3-13$
Сварочное оборудование	0,38	7-8	$v=2-19$

Высшие гармоники появляются в электрических сетях содержащих нелинейные элементы. Как известно, таковыми в электроэнергетических системах в первую очередь являются трансформаторы и электрические машины.

При синусоидальном напряжении сети магнитный поток трансформатора синусоидален, поэтому напряжение на вторичной стороне также синусоидально. В идеальном случае при отсутствии гистерезиса поток и вызывающий его ток намагничивания связаны нелинейной кривой намагничивания.

Поэтому синусоидальному потоку соответствует несинусоидальная кривая тока намагничивания. Учет явления гистерезиса не меняет общей картины характера изменения тока намагничивания. В токе намагничивания присутствуют все нечетные гармоники, в основном гармоники, кратные трем. Для исключения распространения по сети гармоник, кратных трем, на силовых трансформаторах одна из обмоток соединяется в треугольник. В этом случае трансформатор для гармоник, кратных трем, представляет собой «фильтр-ловушку». Гармоники «отсасываются» в трансформатор и в сеть не поступают.

У силовых трансформаторов токи намагничивания значительно увеличиваются при включении трансформатора под напряжение и при восстановлении напряжения после ликвидации КЗ. Особенно большими будут токи намагничивания, если существует остаточное намагничивание сердечника трансформатора. Ток намагничивания с большим содержанием высших гармоник в этих режимах может превышать в 3-5 раз номинальный ток трансформатора. Хотя время существования таких токов составляет всего несколько периодов, влияние их на работу устройств релейной защиты и автоматики может оказаться значительнее.

Вращающиеся машины также являются источниками высших гармонических составляющих. Так как магнитный поток электромагнитной системы не является строго синусоидальным, то имеют место нечетные гармоники.

Другим широко распространенным источником искажения кривых питающего тока и напряжения являются дуговые сталеплавильные печи. Дуговые электропечи имеют нелинейные характеристики электрической дуги, что приводит к появлению высших гармоник тока и напряжения. Работа электрических печей оказывает существенное влияние на режим ра-

боты электрической сети на начальной стадии цикла работы в период расплава.

В установившемся режиме процесс плавки идет «спокойно» и обрыва дуг практически не происходит. Тем не менее, принято считать, что токи высших гармоник являются случайными величинами, поэтому их уровни необходимо представлять в виде вероятностных характеристик

5.2.4. Источники несимметрии напряжений

Существенное влияние на работу электрооборудования, в первую очередь на электродвигатели и силовые трансформаторы, оказывает несимметрия напряжений. При коэффициенте обратной последовательности напряжений, равном 4%, срок службы электродвигателей сокращается примерно в два раза.

Основными источниками несимметрии напряжения являются:

- дуговые сталеплавильные печи;
- индукционные печи электрошлакового переплава;
- тяговые подстанции железных дорог, питающие однофазные нагрузки;
- несимметрия сопротивления сети;
- несимметрия нагрузки;
- преобразовательные установки, работающие с большими выбросами углов зажигания;
- сварочные установки.

Суммарная нагрузка отдельных предприятий содержит до 85-90% несимметричных нагрузок. Характеристики отдельных нагрузок, вызы-

вающих несимметрию напряжений, приведены в таблице 16.

Таблица 16

Характеристики некоторых электроприемников, вызывающих несимметрию напряжения

Тип ЭП		U, кВ	K _{2U} ,%
Дуговые сталеплавильные печи	ДСП- 100	220	1,3
		35	4,5
	ДСП-40	110	1,4
		35	4,0
Однофазные электротермические установки		10	18
Тяговые подстанции		110	4,6
		6	1,4
Прокатный стан		10	2,0
Сварочные агрегаты		0,4	1-5

Поскольку основной причиной несимметрии напряжения является различие нагрузки по фазам (несимметричная нагрузка), то это явление наиболее характерно для низковольтных электрических сетей 0,4 кВ. Однако несимметричные нагрузки достаточно распространены и в высоковольтных электрических сетях (в первую очередь тяговые нагрузки). В большей степени это относится к контактным сетям переменного тока на железнодорожном транспорте. Данные многочисленных экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что в таких сетях величина K_{2U} может достигать 10% и более.

5.3. Влияние качества электрической энергии на работу электроприемников и аппаратов. Способы и технические средства повышения качества электрической энергии.

Отклонение показателей качества электрической энергии от нормативных или оптимальных значений проявляется в виде экономического ущерба у потребителей электрической энергии. Данный ущерб имеет электромагнитную и технологическую составляющие. Электромагнитная составляющая определяется в основном дополнительными потерями активной мощности и энергии и сокращением ресурса электрооборудования ввиду ускоренного старения изоляции. Технологическая составляющая ущерба связана с увеличением длительности производственного процесса, со снижением производительности электрооборудования и, следовательно, с увеличением себестоимости единицы произведенной продукции.

Различные показатели качества электрической энергии оказывают неодинаковое влияние на режим работы потребителей и экономический ущерб при их нарушении.

5.3.1. Влияние установившихся отклонений напряжения

Установившиеся отклонения напряжения оказывают наиболее существенное влияние из всех показателей на работу потребителей.

Электрическое освещение

Ущерб при положительных отклонениях напряжения происходит из-за сокращения срока службы ламп. При $\delta U_Y = 10\%$ срок службы ламп сокращается примерно в 3 раза. Ущерб от пониженного отклонения напряжения связан со снижением производительности труда ввиду снижения

освещенности.

Асинхронные двигатели

Отклонения напряжения вызывают дополнительные потери активной мощности, дополнительное потребление реактивной мощности, сокращение срока службы изоляции, снижение производительности механизмов и увеличение удельного расхода электрической энергии из-за увеличения длительности технологического процесса. В случае повышения напряжения на 1% реактивная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, увеличивается в среднем на 3%. При отрицательных значениях отклонения напряжения увеличение тока пропорционально снижению напряжения, а увеличение потерь активной мощности пропорционально квадрату снижения напряжения. Зависимость потерь активной и реактивной мощности от отклонения напряжения значительно зависит от загрузки двигателя.

Электротермическое оборудование

Снижение напряжения приводит к ухудшению температурного режима, увеличению продолжительности технологического процесса и перерасходу электроэнергии. Например, для ДСП снижение напряжения на 5% приводит к снижению производительности печи на 10%.

Сварочное оборудование

Фактическое напряжение существенно влияет на качество сварки. При снижении напряжения до $0,9 \cdot U_{ном}$ время сварки увеличивается на 20%, а при выходе его за пределы $(0,9-1,1) \cdot U_{ном}$ возникает брак сварных швов. Полный брак сварных швов при сварке обычных металлов наступает при выходе напряжения за пределы $\pm 5\%$, а при сварке коррозионных и жаропрочных сталей - при $\pm 10\%$.

Электролизное производство

Отрицательные значения установившегося отклонения напряжения

приводят к снижению производительности электролизных ванн и повышению удельных расходов электроэнергии. Снижение напряжения до уровня $0,95 \cdot U_{ном}$ на производстве хлора и каустической соды приводит к снижению производительности оборудования на 8% и износу электродов. Повышение напряжения свыше $1,05 \cdot U_{ном}$ приводит к недопустимому перегреву ванн электролизера.

Обеспечить допустимый уровень отклонения напряжения на электроприемнике можно двумя способами:

- за счет регулирования напряжения в центре питания;
- путем снижения потерь напряжения в элементах сети.

Первый способ может быть реализован с помощью изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора. Для этого трансформаторы оснащаются средствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) или имеют возможность переключения отпаек регулировочных ответвлений без возбуждения (ПБВ), т.е. с отключением их от сети на время переключения ответвлений. Трансформаторы с РПН позволяют регулировать напряжение в диапазоне от ± 10 до $\pm 16\%$ с дискретностью 1,25 - 2,5%. Трансформаторы с ПБВ имеют регулировочный диапазон обычно $\pm 5\%$.

Второй способ, основанный на снижении потерь напряжения в питающих линиях или кабелях, может быть реализован за счет снижения активного и (или) реактивного сопротивления. Снижение сопротивления достигается путем увеличения сечения проводов или применением устройств продольной компенсации (УПК). Продольная емкостная компенсация параметров линии заключается в последовательном включении конденсаторов в расщелку линии, благодаря чему ее реактивное сопротивление уменьшается.

5.3.2. Влияние размахов изменения напряжения

Данный показатель характеризуется колебаниями напряжения сети. Колебания напряжения отрицательно сказываются на зрительном восприятии человека и, соответственно, снижению производительности труда. Колебания напряжения отрицательно сказываются на увеличении брака некоторых видов продукции из-за нарушения технологического процесса, на режимах работы систем автоматики и регулирования.

Для уменьшения колебаний напряжения необходимо:

- снижение сопротивления короткого замыкания сети относительно точки подключения потребителей с резкопеременным режимом работы;
- уменьшение набросов реактивной нагрузки.

Для снижения влияния резкопеременной нагрузки на чувствительные электроприемники применяют способ разделения нагрузок, при котором наиболее часто применяют сдвоенные реакторы, трансформаторы с расщепленной обмоткой или питают нагрузки от различных трансформаторов.

5.3.3. Влияние несинусоидальности напряжения

Несинусоидальность напряжения неблагоприятно влияет на электрооборудование, автоматику и релейную защиту, системы учета электрической энергии. Данное влияние проявляется в виде дополнительных потерь активной и реактивной мощности, затруднения компенсации реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов, сокращения срока службы изоляции электрооборудования, создания электромагнитных помех систе-

мам автоматики, защиты, связи. Уровень дополнительных потерь от высших гармоник в сетях электрических систем составляет 2-4% потерь при синусоидальном напряжении. В сетях предприятий, а также электрифицированного железнодорожного транспорта эти потери могут достигать 10-15%.

Во многих электрических сетях различных напряжений с источниками высших гармоник батареи конденсаторов практически не работают, т.к. они или отключаются защитой от перегрузок по току, или выходят из строя в результате вспучивания и взрывов. Это связано с возникновением резонанса на частоте какой-либо из гармоник, имеющийся в амплитудном спектре напряжения сети. Резонансные контуры образуются емкостью батарей конденсаторов и индуктивностью сети.

Способы снижения несинусоидальности напряжения можно разделить на три группы:

1) схемные решения:

- выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин;
- рассредоточение нагрузок по различным узлам электрических систем с подключением параллельно им электродвигателей;
- группирование преобразователей по схеме умножения фаз;
- подключение нагрузки к системе с большей мощностью.

2) использование фильтровых устройств:

- включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров;
- включение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ);
- применение фильтросимметрирующих устройств (ФСУ);
- применение быстродействующих статических источников реактивной мощности, содержащих ФКУ.

- 3) применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник:
- использование «ненасыщающихся» трансформаторов;
 - применение многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями.

5.3.4. Влияние несимметрии напряжения

При несимметрии напряжений происходит увеличение потребления активной и реактивной мощностей, увеличение потерь электроэнергии, снижение ресурса электрооборудования, снижение вращающего момента асинхронных электродвигателей и производительности механизмов, снижение ресурса электрооборудования.

При появлении токов обратной и нулевой последовательностей увеличиваются суммарные токи в отдельных фазах сети, что приводит к увеличению потерь мощности и энергии в отдельных элементах сети и не может быть допустимо с точки зрения нагрева.

При работе электрооборудования в номинальном режиме дополнительные потери от несимметрии напряжения приводят к перегреву токоведущих частей выше допустимой температуры. К повышению температуры весьма чувствительна изоляция обмоток, срок службы которой снижается. Сокращение срока службы изоляции составляет от 2 до 16% в зависимости от вида оборудования и стабильного уровня несимметрии напряжений.

Напряжения обратной последовательности создают вращающий момент двойной частоты, направленный в противоположном направлении моменту вращения ротора электрической машины, т.е. создают тормозной электрический момент. При несимметрии напряжений в синхронных ма-

шинах, наряду с возникновением дополнительных потерь и нагревом статора и ротора, могут начаться опасные вибрации, вызванные вращающимися моментами, пульсирующими с двойной частотой. Эти моменты появляются как следствие взаимодействия магнитных потоков, созданных токами обратной последовательности в цепях ротора и статора, а также потоков, обусловленных токами прямой последовательности. При значительной несимметрии напряжений вибрация может оказаться опасной и вызывать разрушения сварных соединений.

При появлении в трехфазной сети напряжения нулевой последовательности ухудшаются режимы напряжений для однофазных электроприемников. Токи нулевой последовательности постоянно протекают через заземлители и значительно высушивают грунт, увеличивая сопротивления заземляющих устройств. Это недопустимо с точки зрения работы релейной защиты из-за усиления их воздействия на низкочастотные установки связи, устройства железнодорожных блокировок.

Несимметричные режимы влияют на производительность руднотермических печей. Увеличение напряжения обратной последовательности на 20% приводит к снижению производительности руднотермических печей на 30—40%, а увеличение K_{2U} до 40% приводит к значительному увеличению расхода энергии.

К снижению несимметрии напряжений приводит как уменьшение сопротивления сети токам обратной и нулевой последовательностей, так и снижение значений самих токов. Учитывая, что сопротивления внешней сети (трансформаторов, кабелей, линий) одинаковы для прямой и обратной последовательностей, снизить эти сопротивления возможно лишь путем подключения несимметричной нагрузки к отдельному трансформатору.

Снижение систематической несимметрии в сетях низкого напряже-

ния осуществляется рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами с таким расчетом, чтобы сопротивления этих нагрузок были примерно равны между собой. Если несимметрию напряжения не удастся снизить с помощью схемных решений, то применяются специальные устройства, называемые симметрирующими. В качестве таких устройств применяют несимметричное включение конденсаторных батарей (рис. 34.а) или специальные схемы симметрирования (рис. 34.б) однофазных нагрузок.

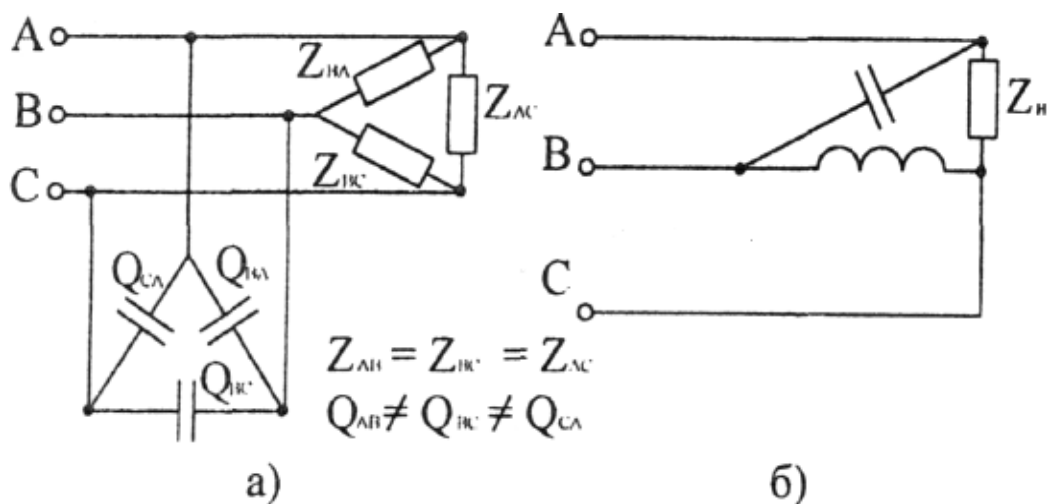


Рис. 34. Симметрирующие устройства с КБ (а) и специальная схема (б)

5.3.5. Влияние отклонения частоты

Пониженная частота в электрической сети влияет и на срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью (электродвигатели, трансформаторы, реакторы со стальным магнитопроводом), за счет увеличения тока намагничивания в таких аппаратах и дополнительного нагрева стальных сердечников.

Кроме того, понижение частоты в системе приводит к уменьшению скорости вращения всех включенных в работу электродвигателей. При

этом снижается производительность связанных с ними механизмов, что во многих случаях ухудшает их экономические показатели работы. При значительном повышении частоты в системе, что может быть, например, в случае уменьшения (сброса) нагрузки, возможно повреждение оборудования.

Изменение нагрузки потребителей в сети может быть различным по характеру. Так, наблюдаются небольшие и кратковременные изменения, а также сравнительно большие и более длительные, например при смене дня и ночи. При малых изменениях нагрузки в системе требуется обычно небольшой резерв мощности. В этих случаях автоматическое регулирование частоты в системе может производиться на одной, так называемой частоторегулирующей станции. При больших изменениях нагрузки увеличение мощности должно быть предусмотрено на значительном количестве станций. В связи с этим в соответствии с предполагаемыми изменениями нагрузок потребителей заранее составляются графики соответствующего изменения нагрузки электростанций. При этом предусматривается так называемое экономическое распределение нагрузок между электростанциями.

В послеаварийных режимах, например при отключении мощных линий электропередач, система может оказаться разделенной на отдельные несинхронно работающие части. В некоторых из них мощность электростанций может оказаться недостаточной для поддержания частоты и будут наблюдаться большие изменения частоты. Это, как уже отмечалось, приведет к резкому снижению производительности оборудования собственных нужд электростанций - питательных и циркуляционных насосов, дымососов и т.п., что вызовет дальнейшее значительное уменьшение мощности станций, вплоть до их выпадения из работы. Для предотвращения общесистемных аварий в подобных случаях предусматриваются специаль-

ные автоматические устройства частотной разгрузки (АЧР), отключающие в таких случаях часть менее ответственных потребителей. После ликвидации дефицита мощности, например после включения резервных источников, специальные устройства частотного автоматического повторного включения включают отключенных потребителей и нормальная работа системы восстанавливается.

5.4. Управление качеством электрической энергии

Под управлением качеством электроэнергии понимается выполнение организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение заданных требований. К организационным мероприятиям относятся:

1. Применение рациональных схем электроснабжения:
 - выбор оптимальной конфигурации сети (радиальная, замкнутая);
 - уменьшение числа ступеней трансформации в сети;
 - секционирование сети;
 - снижение протяженности сетей напряжением 0,4 и 6(10) кВ;
 - устройство перемычек между цеховыми трансформаторами на напряжении 0,4 кВ;
 - подключение источников электромагнитных помех и резкопеременной нагрузки на отдельные трансформаторы или электрически удаленные секции шин, а также к расщепленным обмоткам трансформаторов;
 - применение специальных схем включения вентильных преобразователей;

- равномерное распределение нагрузок по фазам;
 - применение специальных схем соединения обмоток трансформаторов;
 - применение схемных решений, приводящих к увеличению мощности КЗ, таких как объединение расщепленных обмоток трансформаторов или попарного включения на параллельную работу расщепленных обмоток.
2. Применение автоматического регулирования трансформаторов, компенсирующих устройств, синхронных двигателей, вентильных преобразователей, тиристорных источников реактивной мощности.
 3. Регулирование графика нагрузки и режимов электропотребления.
 4. Эксплуатационные мероприятия по улучшению качества электрической энергии, отраженные в виде должностных инструкций, оперативных и ремонтных схем электроснабжения, утвержденных планов мероприятий по улучшению качества электроэнергии.
 5. Система экономического и материального стимулирования предприятия и работников энергетических служб, обеспечивающая повышение качества электрической энергии.

К техническим мероприятиям относится применение специальных технических средств и мероприятий, требующих значительных капитальных вложений. К техническим средствам по управлению установившимися отклонениями напряжения относят:

- применение трансформаторов с РПН как для централизованного, так и для местного регулирования напряжения;
- выполнение схемы глубокого ввода на предприятии;
- реконструкция ЛЭП путем замены или расщепления проводов

или путем перехода с воздушной на кабельную линию электропередачи;

- установка устройств продольной и поперечной емкостной компенсации, синхронных компенсаторов, источников реактивной мощности с вентильным управлением, шунтирующих реакторов;
- замена части асинхронных двигателей на предприятии синхронными;
- применение линейных регуляторов напряжения на ЛЭП или на вторичной обмотке силового трансформатора.

К техническим средствам по управлению размахом изменения напряжения относят:

- установка трансформаторов большей мощности или с расщепленной обмоткой низшего напряжения для подключения резкопеременной нагрузки;
- усиление коммутационного оборудования на распределительных устройствах ввиду необходимости повышения значения мощности КЗ для снижения отрицательного влияния колебаний напряжения на потребителей;
- применение сдвоенных реакторов для разделения питания нагрузок с резкопеременным и спокойным характером;
- применение продольно-поперечных компенсирующих устройств, в том числе быстродействующих статических компенсирующих устройств на тиристорной основе;
- применение специальных стабилизирующих устройств, работающих на принципах ферромагнитного усилителя.

К техническим средствам по управлению несинусоидальностью на-

пряжения относятся:

- применение ФКУ и ФСУ;
- применение вентильных преобразователей с использованием многофазных схем выпрямления (6, 12, 24-фазные схемы и выше);
- использование специальных анодных трансформаторов при подключении к сети вентильных преобразователей;
- применение сглаживающих реакторов или фильтров для снижения пульсаций выпрямленного тока.

К техническим средствам по управлению несимметрией напряжения относятся:

- применение симметрирующих устройств, состоящих из емкостных и индуктивных элементов, которые имеют электрические или электромагнитные связи через трансформаторы и автотрансформаторы;
- применение в низковольтных сетях с нулевым проводом компенсационных симметрирующих устройств, осуществляющих компенсацию тока как нулевой, так и обратной, либо обеих последовательностей вместе.

6. РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

В настоящее время в России вводятся в действие новые отечественные стандарты и методы испытаний (свыше 50 стандартов), гармонизированные с международными и европейскими стандартами, регламентирующими объем современных требований к техническим средствам по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Решения о совершенствовании регулирования в области ЭМС были связаны, прежде всего, с широким распространением микроэлектроники и компьютерной техники в бытовой, производственной и хозяйственной сферах. В то же время учитывается возрастание уровня электромагнитных помех, включая низкочастотные и высокочастотные помехи, вызываемые, например, мобильными телефонами. Принимается во внимание и необходимость устранения барьеров в международной торговле.

***ГОСТ Р 50745-99** “Совместимость технических средств электромагнитная. Системы бесперебойного питания. Устройства подавления сетевых импульсных помех. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. взамен ГОСТ Р 50745-95.*

Стандарт распространяется на отдельные устройства и системы бесперебойного питания, предназначенные для подключения к низковольтным распределительным и промышленным электрическим сетям. ГОСТ Р 50745-99 устанавливает требования к системам бесперебойного питания (СПБ) по ограничению помехоэмиссии, обеспечению устойчивости к воздействию внешних электромагнитных помех, ослаблению сетевых импульсных помех, проходящих на выход СБП, и соответствующие методы

испытаний. Стандарт не применяется для СПБ, основанных на применении вращающихся машин. ГОСТ Р 50745-99 распространяется также на устройства подавления сетевых импульсных помех (УПСИП).

ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95) *“Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний”*. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия, аппараты, приборы, устройства и оборудование с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к низковольтным распределительным электрическим сетям. ГОСТ Р 51317.3.2-99 устанавливает нормы эмиссии гармонических составляющих тока, потребляемого ТС) при испытаниях в регламентированных условиях. При соблюдении норм, установленных стандартом, должна обеспечиваться электромагнитная совместимость низковольтных распределительных электрических сетей и подключаемых к ним ТС в части гармонических составляющих потребляемого тока. Установленные ГОСТ Р 51317.3.2-99 нормы должны быть приведены в стандартах и технической документации на ТС конкретного вида (типа). Испытания в соответствии с ГОСТ Р 51317.3.2-99 являются типовыми (испытаниями одного или нескольких образцов ТС, изготовленных в соответствии с определенной технической документацией, имеющих идентичные характеристики, с целью подтвердить соответствие требованиям настоящего стандарта). Стандарт не распространяется на ТС с номинальным фазным напряжением меньше 220 В.

ГОСТ Р 51317.3.3-99 (МЭК 61000-3-3-94) “Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемое техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

ГОСТ Р 51317.3.3-99 распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и аппаратуру с потребляемым током не более 16 А в одной фазе, подключаемые к низковольтным распределительным электрическим сетям частотой 50 Гц номинальным напряжением фаза - нейтраль от 220 до 240 В. Стандарт устанавливает нормы изменений напряжения, которые могут быть созданы техническими средствами (ТС) при испытаниях в регламентированных условиях и, содержит указания по методам оценки. При соблюдении норм, установленных ГОСТ Р 51317.3.3-99, должна обеспечиваться электромагнитная совместимость низковольтных распределительных электрических сетей и подключаемых к ним ТС в части колебаний напряжения и фликера, создаваемых ТС. Испытания в соответствии с ГОСТ Р 51317.3.3-99 являются типовыми (испытаниями одного или нескольких образцов ТС, изготовленных в соответствии с определенной технической документацией, имеющих идентичные характеристики, с целью подтвердить соответствие требованиям настоящего стандарта).

ГОСТ Р 51317.3.8-99 (МЭК 61000-3-8-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Передача сигналов по низковольтным электрическим сетям. Уровни сигналов, полосы частот и нормы электромагнитных помех”. Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на электрическое оборудование, предназначенное для передачи сигналов по низковольтным электрическим сетям общего назначения и электрическим сетям потребителей электрической энергии в полосе частот от 3 до 525 кГц. ГОСТ Р 51317.3.8-99 устанавливает полосы частот для различных применений оборудования в рабочей полосе частот, нормы создаваемых оборудованием кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех, а также методы измерений. Стандарт не устанавливает виды модуляции сигналов, методы кодирования и функциональные характеристики оборудования.

ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 29191-91.

ГОСТ Р 51317.4.2-99 распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытаний технических средств на устойчивость к ЭСР как при прямом воздействии ЭСР от оператора, так и при непрямом воздействии от оператора на расположенные вблизи ТС предметы и оборудование. Стандарт устанавливает степени жесткости испытаний, которые относятся к различным условиям эксплуатации ТС, а также методы испытаний. Целью стандарта является установление общих правил оценки помехоустойчивости ТС, подвергающихся воздействию электростатических разрядов. ГОСТ Р 51317.4.2-99 устанавливает: типовую форму тока разряда, степени жесткости испытаний, испытательное оборудование, рабочее место для испытаний, методы испытаний. Приведены методы проведения испытаний в лабораторных условиях и испытаний на месте эксплуа-

тации ТС после их окончательной установки.

ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному магнитному полю. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Взамен ГОСТ 30375-95 / ГОСТ 50008-92.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Целью ГОСТ Р 51317.4.3-99 является установление общих методов оценки качества функционирования ТС при воздействии на них радиочастотных электромагнитных полей. Стандарт рассматривает вопросы испытаний на помехоустойчивость в связи с задачами общего характера. Особое внимание уделяется устойчивости ТС в условиях помехоэмиссии от цифровых радиотелефонов. Главной задачей стандарта является обеспечение всех заинтересованных технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты на продукцию, общими ссылочными данными.

ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 29156-91.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к наносекундным импульсным помехам (НИП). Устанавливает степени жесткости испытаний, которые относятся к различным условиям эксплуатации ТС, а также методы испыта-

ний. Целью ГОСТ Р 51317.4.4-99 является установление общих правил оценки качества функционирования ТС при воздействии НИП, возникающих в результате коммутационных процессов (переключений индуктивных нагрузок, размыкании контактов реле и т.п.), на порты электропитания и сигналов ввода/вывода. Стандарт устанавливает: форму импульсов испытательного напряжения, степени жесткости испытаний, требования к испытательному оборудованию, схемы рабочих мест для испытаний, методы испытаний. Приведены методы испытаний в лабораторных условиях и испытаний на месте эксплуатации ТС после их окончательной установки.

ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 30374-95 / ГОСТ Р 50007-92.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии (МИП), вызываемых перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов. Степени жесткости испытаний на устойчивость к МИП определяются для различных условий электромагнитной обстановки и условий эксплуатации. Целью ГОСТ Р 51317.4.5-99 является установление основы для оценки качества функционирования ТС при воздействии МИП в линиях электропитания и соединительных линиях. Стандарт устанавливает: степени жесткости испытаний, требования к испытательному оборудованию, состав рабочих мест для испытаний, методы испытаний. Установленные стандартом испытания предназначены для выявления ре-

акции испытуемого ТС в определенных режимах функционирования на воздействие МИП, создаваемых коммутационными процессами и молниевыми разрядами.

ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний”. Сок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

ГОСТ Р 51317.4.6-99 распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования устойчивости ТС к кондуктивным электромагнитным помехам, вызываемым излучениями преимущественно радиопередающих устройств в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц. Стандарт применяется для ТС, имеющих хотя бы один подключенный (подключаемый при эксплуатации) проводник (кабель): электропитания, передачи сигналов, управления, заземления и т.д. Стандарт рассматривает вопросы испытаний на помехоустойчивость в связи с задачами общего характера. Главной задачей стандарта является обеспечение всех заинтересованных технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты на продукцию, общими ссылочными данными.

ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 30376-95 / ГОСТ Р 50627-93.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование с номинальным потребляемым

током не более 16А в одной фазе, подключаемые к низковольтным сетям переменного тока, и устанавливает степени жесткости и методы испытаний на устойчивость к воздействию динамических изменений напряжения питания следующего вида: провалов, прерываний, выбросов, - а также к воздействию постепенных изменений напряжения электропитания. Стандарт не распространяется на ТС, подключаемые к электрическим сетям постоянного тока или переменного тока частотой 400 Гц. Целью стандарта является установление общих правил оценки помехоустойчивости ТС при динамических и постепенных изменениях напряжения электропитания. Главной задачей стандарта является обеспечение всех заинтересованных технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты на продукцию, общими ссылочными данными.

ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний. Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытания этих ТС на устойчивость к воздействию на них в условиях эксплуатации колебательных затухающих помех (КЗП) следующих видов: одиночных КЗП (возникают в основном в низковольтных силовых линиях и в линиях управления и сигнализации ТС), повторяющихся КЗП (возникают в основном в силовых линиях и линиях управления и сигнализации на подстанциях высокого (выше 35 кВ) и среднего (6÷35 кВ) напряжения). Целью стандарта является установление требований помехоустойчивости и общей основы для оценки в лабораторных условиях каче-

ства функционирования ТС, предназначенных для применения в жилых, коммерческих и промышленных зонах, а также на электростанциях. ГОСТ Р 51317.4.12-99 устанавливает: формы испытательных напряжений и токов; степени жесткости испытаний; требования к испытательному оборудованию; рабочие места для испытаний; методы испытаний. Стандарт рассматривает вопросы испытаний на помехоустойчивость в связи с задачами общего характера. Главной задачей стандарта является обеспечение всех заинтересованных технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты на продукцию, общими ссылочными данными.

ГОСТ Р 51317.4.15-99 (МЭК 61000-4-15-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает технические требования к приборам для измерения количественных характеристик фликера (фликерметрам), предназначенным для индикации воспринимаемого уровня фликера применительно к встречающимся на практике характеристикам изменения напряжения, и методы испытания приборов. Целью стандарта является обеспечение основными сведениями, необходимыми для конструирования и изготовления прибора аналогового или цифрового вида.

ГОСТ Р 51317.6.1-99 (МЭК 61000-6-1-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний.”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования ЭМС в части устойчивости к

электромагнитным помехам, к электрическим, электронным и радиоэлектронным изделиям и аппаратуре, предназначенным для применения в жилых коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением, в соответствии с описанием мест размещения ТС в указанных зонах. ГОСТ Р 51317.6.1-99 применяют для ТС, подключаемых непосредственно к низковольтным (до 1000 В) распределительным сетям или получающих питание от специально предназначенных для этой цели источников постоянного тока, подключаемых к низковольтным распределительным электрическим сетям. Также стандарт применяют для ТС, получающих питание от батарей или от низковольтных электрических сетей, не являющихся распределительными, если ТС предназначены для применения в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым электропотреблением. Целью стандарта является установление требований к ТС по устойчивости к кондуктивным и излучаемым помехам непрерывного и импульсного характера, а также к электростатическим разрядам.

ГОСТ Р 51317.6.2-99 (МЭК 61000-6-2-99) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования ЭМС в части устойчивости к электромагнитным помехам, к электрическим, электронным и радиоэлектронным изделиям и аппаратуре, предназначенным для применения в промышленных зонах. К которым относят ТС, предназначенные для подключения к электрическим сетям, получающим питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения, которые предназначены для электроснабжения промышленного оборудования и оборудования анало-

гичного назначения, а также предназначенные для применения в местах эксплуатации, характеризующихся наличием в них хотя бы одного из условий:

- электрической сети, получающей питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения, предназначенных для электроснабжения установок, питающих электрической энергией промышленное оборудование и оборудование аналогичного назначения;
- промышленных, научных, медицинских и бытовых высокочастотных устройств, удовлетворяющих нормам индустриальных радиопомех;
- частых переключений значительных индуктивных и емкостных нагрузок;
- значительных величин потребляемых оборудованием токов и связанных с ними уровней магнитных полей.

Целью стандарта является установление требований к ТС по устойчивости к кондуктивным и излучаемым помехам непрерывного и импульсного характера, а также к электростатическим разрядам. Стандарт устанавливает для ТС виды испытаний на устойчивость к помехам, степени жесткости испытаний для каждого вида, критерии качества функционирования ТС при испытаниях, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.6.3-99 (МЭК 61000-6-3-96) “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования к помехоэмиссии от электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и аппаратуры, предназначенных для применения в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Стандарт не распространяется на средства радиосвязи. Требования к помехоэмиссии рассматриваются применительно к электромагнитным помехам в полосе частот от 0 до 1000 МГц. Стандарт устанавливает:

- нормы промышленных радиопомех, создаваемых ТС в полосе от 0,15 до 1000 МГц;
- нормы гармонических составляющих тока, потребляемого ТС из сети электропитания в полосе частот 0...2 кГц;
- нормы колебаний напряжения в сети электропитания и фликера, вызываемых ТС,

а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.6.3-99 применяют для ТС, подключаемых непосредственно к низковольтным (до 1000 В) распределительным сетям или получающих питание от специально предназначенных для этой цели источников постоянного тока, подключаемых к низковольтным распределительным электрическим сетям.

ГОСТ Р 51317.6.4-99 (МЭК / СИСПР 61000-6-4-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования к помехоэмиссии от электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и аппаратуры, предназначенных для применения в промышленных зонах. Стандарт не распро-

страняется на средства радиосвязи. Требования к помехоэмиссии рассматриваются применительно к электромагнитным помехам в полосе частот от 0 до 1000 МГц. Стандарт устанавливает:

- нормы промышленных радиопомех, создаваемых ТС в полосе от 0,15 до 1000 МГц;
- нормы гармонических составляющих тока, потребляемого ТС из сети электропитания в полосе частот 0...2 кГц,

а также соответствующие методы испытаний.

Стандарт устанавливает также нормы промышленных радиопомех от предприятий и объектов, находящихся в промышленных зонах.

ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от промышленных, научных, медицинских и бытовых (ПНМБ) высокочастотных устройств. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Взамен ГОСТ 23450-79.

Стандарт распространяется на высокочастотные устройства промышленного, научного, медицинского, а также бытового назначений и искровое электроэрозионное оборудование и устанавливает нормы промышленных радиопомех (ИРП) в полосе частот от 9 кГц до 12,5 ГГц и методы испытаний. Нормы определены на вероятностной основе с учетом возможности создания ИРП. В случае мешающего воздействия ИРП могут потребоваться дополнительные меры по их подавлению. ГОСТ Р 51318.11-99 распространяется на электроэрозионное оборудование в части напряжения ИРП в сети электропитания, на медицинскую высокочастотную аппаратуру для электрохирургии - в части напряжения ИРП в сети электропитания при выключенной выходной цепи.

ГОСТ Р 51318.12-99 (СИСПР 12-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от автомобильных средств, моторных лодок и устройств с двигателями внутреннего сгорания. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Взамен ГОСТ 17822-91.

Стандарт распространяется на автомобильные средства и моторные лодки, приводимые в движение двигателями внутреннего сгорания, электродвигателями или и теми и другими. Стандарт устанавливает нормы узкополосных и широкополосных промышленных радиопомех от указанных автомобильных средств и устройств и соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51318.14.1-99 (СИСПР 14-1-93) “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных устройств. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 23511-79 и ГОСТ 30320-95 / ГОСТ Р 50033-92.

ГОСТ Р 51318.14.1-99 устанавливает требования к ИРП от устройств и оборудования, основные функции которых выполняются с помощью двигателей и переключающих или регулирующих устройств, при условии, что при этом радиочастотная энергия не создается специально или не используется для освещения. Стандарт распространяется на ТС следующих видов: бытовые электрические приборы, электрические инструменты, регулирующие устройства на полупроводниковых приборах, электромедицинские приборы с приводом от двигателя, электрические игрушки, аппараты автоматической расфасовки, кино- и диапроекторы, а также на другие ТС, указанные в разделе 7 ГОСТ Р 51318.14.1-99. Стандарт распространя-

ется также на отдельные части указанных ТС, такие как: двигатели; переключающие устройства, например, реле (силовые или защитные). В ГОСТ Р 51318.14.1-99 не установлены требования к ИРП от ТС, которые не могут быть испытаны на измерительной площадке. Требования к измерениям на месте эксплуатации находятся на рассмотрении.

ГОСТ Р 51318.14.2-99 (СИСПР 14-2-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных устройств. Требования и методы испытаний.”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости к электромагнитным помехам и распространяется на приборы и устройства бытового и аналогичного назначения, использующие электрическую энергию, а также электрические игрушки и электрические инструменты, имеющие номинальное напряжение электропитания не более 250 В для устройств, подключаемых к однофазным (двухпроводным и трехпроводным) электрическим сетям, и не более 480 В для других устройств. Эти ТС могут содержать электродвигатели, нагревательные элементы или их комбинации, а также электрические или электронные схемы и могут получать электропитание от электрической сети, батарей или любых других источников электрической энергии. ГОСТ Р 51318.14.2-99 распространяется также на ТС, не предназначенные для применения в бытовых условиях, для которых может быть необходимо установление требований помехоустойчивости, такие, как устройства, предназначенные для применения на предприятиях торговли, в производственных зонах с малым энергопотреблением и на фермах, если указанные ТС включены в область применения ГОСТ Р 51318.14.1, и, кроме того, на:

- микроволновые печи для бытового применения и предприятий общественного питания;
- кухонные нагреватели и печи, нагреваемые при использовании высокочастотной энергии, и индукционные кухонные приборы (одно- и многозоновые);
- ультрафиолетовые (УФ) и инфракрасные (ИК) излучатели индивидуального пользования.

Стандарт не распространяется на:

- световое оборудование;
- устройства, предназначенные для применения исключительно на предприятиях промышленности;
- устройства, применяемые в качестве составных частей электрических установок зданий (такие, как предохранители, устройства защитного отключения, кабели и выключатели);
- устройства, применяемые в местах, характеризующихся преимущественно специальными условиями электромагнитной обстановки, такими, как значительная напряженность электромагнитных полей (например, вблизи стационарных радиовещательных передающих станций) или значительные величины импульсных напряжений и токов в силовых электрических сетях (на электростанциях);
- радио- и телевизионные приемники, аудио- и видеооборудование для профессионального использования, электронные музыкальные инструменты;
- медицинские электрические изделия;
- радиопередающие устройства;
- ТС, предназначенные для применения исключительно на авто-

транспортных средствах.

ГОСТ Р 51318.15-99 (СИСПР 15-96) “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электрического светового и аналогичного оборудования. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 21177-82.

Стандарт устанавливает нормы ИРП в полосе частот 0,009÷30 МГц и методы испытания следующего оборудования:

- светового оборудования, основной функцией которого является создание и/или распределение света, предназначенного для освещения, питающегося от низковольтной электрической сети или от батарей;
- световых частей многофункционального оборудования;
- отдельного вспомогательного оборудования, предназначенного для использования исключительно со световым оборудованием;
- оборудования ультрафиолетового и инфракрасного излучения;
- рекламного неоновое светового оборудования;
- уличного/прожекторного светового оборудования;
- светового оборудования, применяемого на транспорте (на кораблях и в поездах).

Стандарт не распространяется: на световое оборудование для воздушного транспорта и аэропортов, оборудование, для которого требования ЭМС установлены в других стандартах.

ГОСТ Р 51318.22-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.”. Срок введения 01.01.2001 г.

Взамен ГОСТ 29216-91.

Область применения ГОСТ Р 51318.22-99 охватывает всю полосу радиочастот от 9 кГц до 400 ГГц, однако нормы определены только в ограниченной полосе частот, которая считается достаточной для установления уровней помехоэмиссии в целях защиты служб радиовещания и связи и обеспечения возможности для другой аппаратуры работать должным образом на приемлемом расстоянии. Стандарт распространяется на оборудование информационных технологий (ОИТ) в соответствии с определением ОИТ. ГОСТ Р 51318.22-99 устанавливает нормы и методы измерений промышленных радиопомех (ИРП) от ОИТ классов А и Б в полосе частот от 0,15 до 1000 МГц. Измерения на частотах, применительно к которым нормы не установлены, не проводят. Целью стандарта является установление единообразных требований к уровням ИРП от оборудования, соответствующего области применения настоящего стандарта, и фиксированных норм радиопомех; описание методов измерений, стандартизация рабочих условий при проведении испытаний; определение порядка оценки результатов испытаний. ГОСТ Р 51318.22-99 не распространяется на оборудование, для которого нормы ИРП установлены в других государственных стандартах, содержащих требования публикаций МЭК или СИСПР. Любое оборудование (или часть ОИТ), основной функцией которого является передача и/или прием радиосигналов в соответствии с определениями, приведенными в Регламенте радиосвязи Международного союза электросвязи, исключается из области применения настоящего стандарта.

ГОСТ Р 51318.24-99 (СИСПР 24-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость оборудования информационных технологий к электромагнитным помехам. Требования и методы ис-

пытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Настоящий стандарт распространяется на оборудование информационных технологий (ОИТ) и устанавливает требования устойчивости ОИТ к непрерывным импульсным, кондуктивным и излучаемым электромагнитным помехам, включая электростатические разряды, и соответствующие методы испытаний. Требования помехоустойчивости ОИТ установлены применительно к воздействию помех в полосе частот от 0 до 1000 МГц и направлены на обеспечение функционирования ОИТ в соответствии с назначением в окружающей ЭМО.

ГОСТ Р 51319-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы для измерения промышленных помех. Технические требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 11001-80.

Стандарт распространяется на приборы, предназначенные для измерения промышленных радиопомех, и устанавливает технические требования и методы испытаний приборов в полосе частот от 9 кГц до 1000 МГц.

ГОСТ Р 51320-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные. Методы испытаний технических средств – источников промышленных помех”. Срок введения 01.01.2001 г. Взамен ГОСТ 16842-82.

Настоящий стандарт распространяется на технические средства, являющиеся источниками ИРП. Стандарт устанавливает общие методы испытаний ТС на соответствие нормам ИРП в полосе частот от 9 кГц до 18 ГГц.

ГОСТ Р 51513-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование распределительных сетей приемных систем телевидения и радиовещания. Нормы электромагнитных помех, требования помехоустойчивости и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на оборудование распределительных сетей приемных систем телевидения и радиовещания по ГОСТ 28324. Он устанавливает нормы электромагнитных помех, включая ИРП в полосе частот от 0,15 до 1750 МГц и гармонические составляющие тока, потребляемого оборудованием из сети электропитания в полосе частот от 0,1 до 2 кГц, требования помехоустойчивости при воздействии радиочастотных электромагнитных полей в полосе частот от 0,15 до 1000 МГц и кондуктивных помех, наведенных радиочастотными электромагнитными полями, в полосе частот от 0,15 до 150 МГц, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51514-99 (МЭК 61547-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость сетевого оборудования общего назначения. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости к электромагнитным помехам и применяется для светового оборудования общего назначения, включая лампы, вспомогательные устройства и светильники, предназначенные для подключения к низковольтным сетям или получающие питание от батарей. ГОСТ Р 51514-99 устанавливает виды испытаний оборудования на устойчивость к электромагнитным помехам, уровни испытательных воздействий для каждого вида, критерии качества функциониро-

вания оборудования при испытаниях, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51515-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость радиовещательных приемников, телевизоров и другой бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на радиовещательные приемники, телевизоры и функционально связанное с ними оборудование, включая бытовые видеомагнитофоны, электропроигрыватели, электрофоны и усилители сигналов звуковой частоты, в том числе входящие в состав многофункциональной бытовой радиоэлектронной аппаратуры. ГОСТ Р 51515-99 устанавливает требования помехоустойчивости и методы испытаний оборудования при воздействии радиочастотного магнитного поля в полосе частот от 0,15 до 1000 МГц и кондуктивных помех, наведенных радиочастотными электромагнитными полями в полосе частот от 0,15 до 150 МГц, а также магнитного поля звуковой частоты, электростатических разрядов, сетевых импульсных помех и динамических изменений напряжения электропитания.

ГОСТ Р 51516-99 (МЭК 60255-22-4-92) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает общие требования к устойчивости статических измерительных реле и устройств защиты к наносекундным импульсным помехам и типовые методы испытаний. Целью настоящего стандарта

является установление:

- степеней жесткости испытаний;
- условие проведения испытаний;
- методов испытаний;
- критериев оценки.

ГОСТ Р 51522-99 (МЭК 61326-1-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

ГОСТ Р 51523-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от профессиональной аудио-, видео-, аудиовизуальной аппаратуры и аппаратуры управления световыми приборами для зрелищных мероприятий. Нормы и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на профессиональную аналоговую и цифровую аудио-, видео-, аудиовизуальную аппаратуру и аппаратуру управления световыми приборами для зрелищных мероприятий. Стандарт устанавливает требования к помехоэмиссии ТС и соответствующие методы испытаний. Стандарт не распространяется на бытовую аудио- и видеоаппаратуру, аппаратуру охранной и пожарной сигнализации и радиопередающие устройства.

ГОСТ Р 51524-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Системы электрического привода с регулируемой скоростью вращения. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вво-

дится впервые.

Стандарт распространяется на системы электрического привода (СЭП) с регулируемой скоростью вращения двигателей переменного и постоянного тока, подключаемые к электрическим сетям переменного тока с номинальным напряжением до 1000 В, применяемые в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением, а также в промышленных зонах, за исключением применяемых на электрических транспортных средствах. Стандарт не распространяется на электрические установки, содержащие СЭП. Он устанавливает требования к СЭП по обеспечению электромагнитной совместимости, включая требования устойчивости к электромагнитным помехам и ограничения помехоэмиссии, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51525-99 (МЭК 60255-22-2-96) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает общие требования устойчивости статических измерительных реле и устройств защиты к ЭСР и типовые методы испытаний. Целью настоящего стандарта является установление:

- степеней жесткости испытаний;
- условие проведения испытаний;
- методов испытаний;
- критериев оценки.

ГОСТ Р 51526-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование для дуговой сварки. Требования и методы испытаний”.

Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на оборудование для дуговой сварки, предназначенное для использования в промышленных и бытовых условиях, в том числе сварочные источники питания, механизмы подачи проволоки и вспомогательное оборудование. Стандарт устанавливает требования по ограничению электромагнитных помех, создаваемых оборудованием, и обеспечению устойчивости оборудования к внешним помехам, а также методы испытаний.

ГОСТ Р 51527-99 (МЭК 60478-3-89) “Совместимость технических средств электромагнитная. Стабилизированные источники питания постоянного тока. Кондуктивные электромагнитные помехи. Нормы и методы испытаний”. *Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.*

Стандарт распространяется на стабилизированные источники питания постоянного тока и особенно импульсные источники питания с потребляемым током не более 25 А. Стандарт устанавливает методы испытаний устройств и требования к средствам измерений кондуктивных электромагнитных помех, создаваемых устройствами, а также нормы ИРП на входных и выходных зажимах в полосе частот от 10 кГц до 30 МГц.

ГОСТ Р 51329-99 (МЭК 61543-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током (УЗО-Д), бытового и аналогичного назначения. Требования и методы испытаний”. *Срок введения 01.01.2001 г. Вводится впервые.*

Стандарт содержит определения терминов, стандартные условия ЭМО, условия функционирования при эксплуатации и устанавливает ис-

питания в области электромагнитной совместимости, необходимые для устройств, обеспечивающих защиту при управлении дифференциальным током. Стандарт устанавливает виды испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам, степени жесткости испытаний для каждого вида, критерии качества функционирования при испытаниях, нормы ИРП, а также методы испытаний.

ГОСТ Р 51407-99 (МЭК 60118-13-97) “Совместимость технических средств электромагнитная. Слуховые аппараты. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт рассматривает вопросы, связанные с помехоустойчивостью слуховых аппаратов.

ГОСТ Р 51408-99 “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам профессиональной аудио-, видео-, аудиовизуальной аппаратуры и аппаратуры управления световыми приборами для зрелищных мероприятий. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Вводится впервые.

Стандарт распространяется на профессиональную аналоговую и цифровую аудио-, видео-, аудиовизуальную аппаратуру и аппаратуру управления световыми приборами для зрелищных мероприятий. Стандарт устанавливает требования к ТС по устойчивости к электромагнитным помехам, и регламентирует виды помех при испытании, степени жесткости испытаний для каждого вида, критерии качества функционирования при испытаниях и соответствующие методы испытаний. Стандарт не распространяется на бытовую аудио- и видеоаппаратуру, аппаратуру охранной и пожарной сигнализации и радиопередающие устройства.

ГОСТ Р 50009-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства охранной сигнализации. Требования и методы испытаний”. Срок введения для вновь разрабатываемых, модернизируемых и импортируемых ТС-01.01.2002 г., для серийно изготавливаемых ТС-01.07.2002 г. Взамен ГОСТ Р 50009-91.

Стандарт распространяется на ТС охранной сигнализации и применяется для стационарных, подвижных и портативных ТС, предназначенных для применения в помещениях и вне их. Стандарт устанавливает требования устойчивости ТС к внешним электромагнитным помехам, нормы ИРП, создаваемых при работе ТС и соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 50628-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость машин электронных вычислительных к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Взамен ГОСТ Р 50628-93.

ГОСТ Р 50628-2000 распространяется на вновь разрабатываемые, изготавливаемые, модернизируемые и импортируемые электронные вычислительные персональные машины (ПЭВМ), подключаемые к низковольтным электрическим сетям переменного тока частотой 50 Гц, в том числе на периферийные устройства, применяемые в составе ПЭВМ, а также на оборудование различного назначения на основе ПЭВМ. Стандарт устанавливает виды испытаний ПЭВМ на устойчивость к электромагнитным помехам, степени жесткости испытаний для каждого вида, критерии качества функционирования ПЭВМ при испытаниях, а также соответствующие методы испытаний. ГОСТ Р 50628-2000 не распространяется на средства связи.

ГОСТ Р 50746-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний”. Срок введения для вновь разрабатываемых, модернизируемых и импортируемых ТС АС-01.01.2002 г., для серийно изготавливаемых ТС АС-01.07.2002 г. Взамен ГОСТ Р 50746-95.

Стандарт распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия (оборудование, аппаратуру), а также на изделия, содержащие электрические, электронные и радиоэлектронные компоненты (схемы), поставляемые на ядерно- и радиационно опасные объекты народнохозяйственного назначения, в том числе атомные станции. Стандарт устанавливает требования к ТС по обеспечению электромагнитной совместимости, включая требования устойчивости и нормы помехоэмиссии, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 50747-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Машины контрольно-кассовые электронные. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Взамен ГОСТ Р 50747-95.

Стандарт распространяется на вновь разрабатываемые, изготавливаемые, модернизируемые и импортируемые электронные устройства, предназначенные для автоматизации учетно-расчетных операций и регистрации их на техническом носителе, применяемые на предприятиях торговли, сферы услуг и других отраслях народного хозяйства. Стандарт устанавливает требования к ТС по обеспечению электромагнитной совместимости, включая нормы эмиссии электромагнитных помех, требования устойчивости к внешним помехам, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 50839-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость средств вычислительной техники и информатики к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.07.2001 г. Взамен ГОСТ Р 50839-95.

Стандарт распространяется на вновь разрабатываемые, изготавливаемые, модернизируемые и импортируемые средства вычислительной техники и информатики (СВТИ), подключаемые к низковольтным электрическим сетям переменного тока частотой 50 Гц:

- электронные вычислительные машины;
- вычислительные комплексы и системы;
- устройства центральные вычислительных машин, комплексов, систем и сетей (процессоры, мультипроцессоры, транспьютеры, серверы, контроллеры и др.);
- периферийные устройства (внешние запоминающие устройства, устройства ввода-вывода, отображения и др.);
- рабочие станции;
- сервисные устройства и др.

ГОСТ Р 50839-2000 устанавливает виды испытаний СВТИ на устойчивость к электромагнитным помехам, степени жесткости испытаний для каждого вида, критерии качества функционирования СВТИ при испытаниях, а также соответствующие методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.2.2-2000 (МЭК 61000-2-2-94) “Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) “Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает классификацию электромагнитных помех, вызываемых электромагнитными явлениями и процессами, определяющими электромагнитную обстановку, применительно к различным местам размещения электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий, оборудования и систем. Целью стандарта является обеспечение заинтересованных технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты в области устойчивости ТС к электромагнитным помехам, сведениями о характеристиках электромагнитной обстановки рекомендациями по выбору уровней помехоустойчивости ТС.

ГОСТ Р 51317.4.1-2000 (МЭК 61000-4-1-2000) “Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Виды испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Взамен ГОСТ 29280-91.

ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-99) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебаниям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования с номинальным потребляемым током не более 16 А (в одной фазе) к колебаниям напряжения электропитания положительной и отрицательной полярности,

воздействующих на ТС в условиях эксплуатации, характеризующимся малым размахом изменения напряжения, и соответствующие методы испытаний, а также общую основу для оценки устойчивости ТС при колебаниях питающего напряжения. Рассматриваемые ТС подключаются к низковольтным распределительным сетям при частоте питающего напряжения 50 Гц (ТС, подключаемые к сети постоянного тока или переменного тока частотой 400 Гц не рассматриваются).

ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-98) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования и методы испытаний электротехнических и радиоэлектронных изделий и оборудования на устойчивость к кондуктивным помехам, представляющим собой общие несимметричные напряжения в полосе частот от 0 до 150 кГц, подобные тем, которые возникают при протекании электрического тока в силовых кабелях, расположенных вблизи от ТС, и токов утечки в системах заземления, а также общую основу для оценки устойчивости ТС при воздействии кондуктивных помех указанного вида на порты электропитания, сигнализации, управления и связи. Рассматриваемые ТС подключаются к низковольтным распределительным сетям при частоте питающего напряжения 50 Гц (ТС, подключаемые к сети постоянного тока или переменного тока частотой 400 Гц не рассматриваются). Стандарт устанавливает формы испытательных напряжений, степени жесткости испытаний, требования к испытательному оборудованию, состав рабочих мест, методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока. Требования и методы испытаний”.
Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования к пульсациям напряжения, воздействующим на входные порты электропитания постоянного тока ТС, и соответствующие методы испытаний, а также общую и воспроизводимую основу для испытаний в условиях лабораторий ТС, подверженных воздействию пульсаций постоянного напряжения и наложенных на напряжение источников постоянного тока. ГОСТ Р 51317.4.17-2000 распространяется на ТС, подключаемые к внешним выпрямительным системам или к источникам постоянного тока, требующим подзарядки во время функционирования. Стандарт не применяют для ТС, подключенных к батареям с устройствами заряда, содержащими импульсные преобразователи. Стандарт устанавливает формы испытательных напряжений, степени жесткости испытаний, требования к испытательному оборудованию, состав рабочих мест, методы испытаний.

ГОСТ Р 51317.4.28-2000 (МЭК 61000-4-28-99) “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к изменениям частоты питающего напряжения. Требования и методы испытаний”.
Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования с номинальным потребляемым током не более 16А (на фазу) к изменениям частоты питающего напряжения и соответствующие методы испытаний, а также

основу для оценки устойчивости ТС при изменении частоты питающего напряжения в условиях эксплуатации. Рассматриваемые ТС подключаются к низковольтным распределительным сетям при частоте питающего напряжения 50 Гц (ТС, подключаемые к сети постоянного тока или переменного тока частотой 400 Гц не рассматриваются). Требования и методы испытаний, установленные в ГОСТ Р 51317.4.28-2000, должны применяться только для ТС, восприимчивых к изменениям частоты электропитания вследствие конструктивных особенностей или иных условий эксплуатации, а также с учетом возможных последствий отказов в функционировании.

ГОСТ Р 51699-2000 “Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств охранной сигнализации. Требования и методы испытаний”. Срок введения 01.01.2004 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает требования устойчивости к электромагнитным помехам стационарных, передвижных и портативных электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и аппаратуры, входящих в состав систем охранной сигнализации, в том числе предназначенных для передачи и (или) приема радиосигналов и сигналов в коммутируемых общественных линиях проводной связи и низковольтных электрических сетях, а также входящих в состав систем охранного телевидения и систем контроля доступа, применяемых для целей безопасности. Стандарт устанавливает единые требования помехоустойчивости, включая виды электромагнитных помех и степени жесткости испытаний.

ГОСТ Р 51700-2000 “Совместимость технических средств электромаг-

нитная. Технические средства, подключаемые к симметричным линиям. Параметры асимметрии относительно земли. Схемы измерений". Срок введения 01.01.2002 г. Вводится впервые.

Стандарт устанавливает параметры асимметрии ТС, подключаемых к симметричным линиям связи, относительно земли и общие схемы измерений параметров асимметрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгазинов, Э.К. Электромагнитная совместимость радиоприемных устройств СВЧ: Учебное пособие [Текст] / Э.К. Алгазинов, А.М. Бобрешов, А.М. Воробьев А.М. и др. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. - 80 с.
2. Бессонов, В.А. Электромагнитная совместимость [Текст] / В.А. Бессонов. – Хабаровск: ДВГУПС, 2000.
3. Газизов, Т.Р. Основы электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие [Текст] / Т.Р. Газизов - Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. - 243 с.
4. ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения [Текст].- Введ. 01.07.93.- М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1993.– 15 с.
5. ГОСТ Р 51317.2.5-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств [Текст].- Введ. 13.12.2000.- М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001.– 38 с.
6. Костин, М. К. Проблемы и методы контроля электромагнитной обстановки на энергообъектах. [Текст] / М.К. Костин, М.В. Матвеев //Сб. научных докладов IV Международного симпозиума по электромагнитной совместимости. – С-Пб, 2001.
7. Курбацкий, В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электрических сетях [Текст] / В.Г. Курбацкий. - Братск: БрГТУ, 1999.-220с.

8. Литвак, В.В. Энергосбережение и качество электрической энергии в энергосистемах [Текст] / В.В. Литвак, Г.З. Маркман, Н.Н. Харлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 162 с.
9. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982.
10. Матвеев, В.В. Электромагнитная совместимость цифровой аппаратуры на энергетических и промышленных объектах: контроль и улучшение электромагнитной обстановки [Электронный ресурс] / В.В. Матвеев // <http://www.ezop.ru>.
11. Усачев, А.Е. Электромагнитная совместимость [Текст] / А.Е. Усачев. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 44 с.
12. Хабигер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике [Текст] / Э. Хабигер. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.
13. Шваб, А. Электромагнитная совместимость [Текст] / А. Шваб. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 480 с.

Данил Александрович Дейс

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Учебное пособие

Лицензия ЛР 020525 от 02.06.97 г.

Редактор

Сдано в производство

Форм. Бум. 60x84 1/16

Печать офсетная

Уч.-изд. л.

Тираж экз.

Бум. тип №2

Гарнитура литературная

Усл. печ. л.

Заказ № _____

Читинский государственный университет
672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30

РИК ЧитГУ