

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.А. ЕЖЕВСКОГО

Кафедра электроснабжения и электротехники

Г.В. Лукина, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов, С.М. Быкова

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие



Молодёжный 2020

УДК 621.371/372+537.811(075.8)

Э 445

Печатается по решению научно-методического совета ФГБОУ ВО ИрГАУ им. А.А.Ежевского (протокол №5 от 30.11.2020 г.)

Рецензенты:

1. Логинов А.Ю. - к.т.н., доцент кафедры электрооборудования и физики ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ»
2. Пионкевич А.В. - доцент кафедры электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО «ИРНТУ».

Электромагнитная безопасность: учебное пособие для бакалавров по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 35.03.06 «Агроинженерия» и магистров по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника») / Г.В. Лукина, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов, Быкова С.М.; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А.А. Ежевского – Молодёжный : Изд-во ИрГАУ, 2020. – 137 с.

В учебном пособии рассмотрены общие вопросы экологии и электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики, каналы и источники передачи помех, способы и технические устройства для борьбы с ними, помехоустойчивость, а также нормативные методы по сертификации на помехоустойчивость, рекомендации по допустимым напряжениям электромагнитных полей промышленной частоты для персонала и населения.

© Г.В. Лукина, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов, Быкова С.М., 2020

© Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	6
1.1 Понятие и определение. Общие положения	6
1.2 Терминология и описание электромагнитных помех	9
1.3 Требования к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС)	16
2 ПОМЕХИ И ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ	19
2.1 Основные источники помех в электроэнергетических системах	19
2.2 Полупроводниковые преобразователи электрической энергии	19
2.2.1 Процесс возникновения помех при преобразовании электрической энергии	19
2.2.2 Работа управляемого выпрямителя. Возникновение помех	20
2.2.3 Работа преобразователей постоянного тока. Возникновение помех	24
2.3 Переключение (коммутация) резистивных нагрузок и емкостных цепей	25
2.3.1 Модель для расчета импульсных помех при включении нагрузок	25
2.3.2 Включение активной нагрузки	27
2.3.3 Включение конденсаторов	28
2.3.4 Включение трехфазных электрических нагрузок	29
2.3.5 Вероятностные характеристики импульсных помех	31
2.4 Выключение индуктивных цепей	32
2.5 Однофазное замыкание на корпус	34
2.6 Работа разных видов электроустановок	35
2.7 Статическое электричество. Электростатический разряд	37
2.8 Источник узкополосных помех	38
2.9 Внешние мощные электромагнитные воздействия	39
3 УРОВНИ ПОМЕХ И ИХ ОПИСАНИЕ	42
3.1 Интервалы и уровни электромагнитных помех	42
3.2 Методика построения ЭМС – диаграммы	46
4 ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ	54
4.1 Элементы гальванической (металлической связи)	49
4.2 Синфазные и противофазные помехи	53
5 ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ	55
5.1 Индуктивная (магнитная) связь	55
5.2 Индуктивное влияние	55
6 ЕМКОСТНАЯ СВЯЗЬ	59
6.1 Емкостная связь. Общие понятия	59

6.2	Емкостное влияние.....	60
6.2.1	Гальванически разделенные контуры.....	61
6.2.2	Контуры с общим проводом системы опорного потенциала.....	62
6.2.3	Токовые контуры с большой емкостью относительно земли.....	64
6.2.4	Емкостное влияние молнии.....	65
7	ПАССИВНЫЕ ПОМЕХОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	67
7.1	Фильтры.....	67
7.1.1	Электрические фильтры.....	67
7.1.2	Сетевые фильтры.....	73
7.2	Ограничители перенапряжения.....	75
7.3	Экраны.....	77
7.3.1	Принцип действия экранов.....	77
7.3.2	Экранирование приборов и помещений.....	79
7.3.3	Экраны кабелей.....	81
7.4	Разделительные элементы.....	82
7.5	Разрядники.....	86
7.6	Варисторы (ОПН).....	87
7.7	Кремниевые лавинные диоды.....	89
7.8	Искровые разрядники.....	89
7.9	Гибридные разрядные цепи.....	90
7.10	Оптроны и световодные линии.....	91
8	ТИП, СПОСОБ И ТРАССА ПРОКЛАДКИ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМБ.....	93
9	СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	98
10	ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	104
10.1	Перечень вопросов к экзамену (зачету).....	104
10.2	Тесты.....	106
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитная безопасность (ЭМБ) – это оценка информации, которая рассматривает обеспечение безопасности, наносимой человеку электромагнитным излучением, характеризуется для электротоваров, при работе которых в источниках электрического тока индуцируются магнитные, электрические и электромагнитные поля разной мощности и частоты. Эти поля оказывают негативное воздействие на организм человека и окружающую среду, если превышают предельно допустимые величины.

Степень воздействия на организм человека и окружающую среду зависит от вида и марки электротоваров, продолжительности их работы и соблюдения правил эксплуатации.

Обеспечение электромагнитной безопасности в системах электроэнергетики (ЭЭС) и окружающей среды является немаловажной частью проблемы в современном мире. Значимость ЭМБ характеризуется связью ЭЭС со всеми техническими устройствами (ТУ), которые могут быть подвержены воздействию ЭМП. Для обеспечения ЭМБ и ЭМС необходимо знать электромагнитную обстановку (ЭМО) на месте работы каждого технического средства (ТС), и их реакции на окружающий нас мир. Для решения ЭМБ необходимо создать условия, при которых оборудование невосприимчиво к внешним помехам и само не создает ЭМП для другого оборудования, а также идеально совместимо с окружающей его средой для обеспечения электромагнитной экологии. Для чего в данном направлении применяются различные технические и проводятся организационные мероприятия.

Важная задача ЭМБ в системах электроэнергетике и окружающем пространстве заключается в постановке и решении задач для выявления электромагнитных воздействий ЭМП на элементы электротехнического и электронного оборудования и окружающего нас мира.

При проектировании и эксплуатации систем электроэнергетики необходимо знать характеристики, свойства этих элементов, т.к. именно они являются комплексом источников помех. Их передача требует знание методов прогнозирования ЭМО для обеспечения ЭМБ при установившемся, заданном составе электрооборудования и режимах его работы. Все это обуславливает требования по ослаблению помех в источниках, генерирующих эти помехи и пути их распространении.

Для обеспечения электромагнитной безопасности (ЭМБ) и поддержания электромагнитной обстановки (ЭМО) на производственных объектах требуется знание процессов взаимодействия физических полей (постоянных магнитных и электрических полей, шумов, вибраций, ЭМИ различных длин волн и диапазонов, ионизирующих излучений и т. п.) различного происхождения.

1 ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Понятия и определения. Общие положения

Электромагнитная безопасность – это отсутствие влияния электрических, магнитных и электромагнитных полей, превышающего допустимые значения.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств (ТС) характеризуется способностью ТС работать с нормативным качеством в заданной обстановке, при этом не создавая ЭМП недопустимых для других технических средств.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) - совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства.

Электромагнитная помеха (ЭМП) - нежелательное физическое воздействие магнитных или электромагнитных полей, которые снижают качество функционирования ТС.

Увеличение количества и мощности технических средств (ТС), информационных систем всех типов, снижение величины полезных сигналов, могут привести к росту уровня помех. Если своевременно не принять необходимые меры, Проблемы ЭМ совместимости обостряются при несвоевременно принятых мерах от действия электромагнитных помех. В ситуациях, когда ЭМО различных ТС отличается от нормативных, часто возникают аварии, которые могут привести к техническому и экономическому ущербу, а даже к смерти людей [1, 2].

Для соблюдения ЭМБ во всей мировой электроэнергетике регулярно вводятся в действие и совершенствуются стандарты, которые включают в себя требования к электротехническому оборудованию по ЭМ совместимости. При не выполнении требований продукция не выставляется на Европейский мировой и другие рынки. Особенности проблемы ЭМС техническим оборудованием объясняются схемой, представленной на рис.1.1.

Включение и выключение электрической установки характеризуется появлением или отсутствием электрического тока, напряжения, магнитных и электрических полей. При нахождении в зоне влияния техническое средство попадает под их влияние в виде помех, которые зависят от условий окружающей среды, типа и их конструкции, принципа действия и т.д. Полезный сигнал этого устройства может вызывать большие помехи на другом более низковольтном оборудовании или ТС, создать там помехи, вызвать аварийный режим ухудшив их работу или вывести из строя.

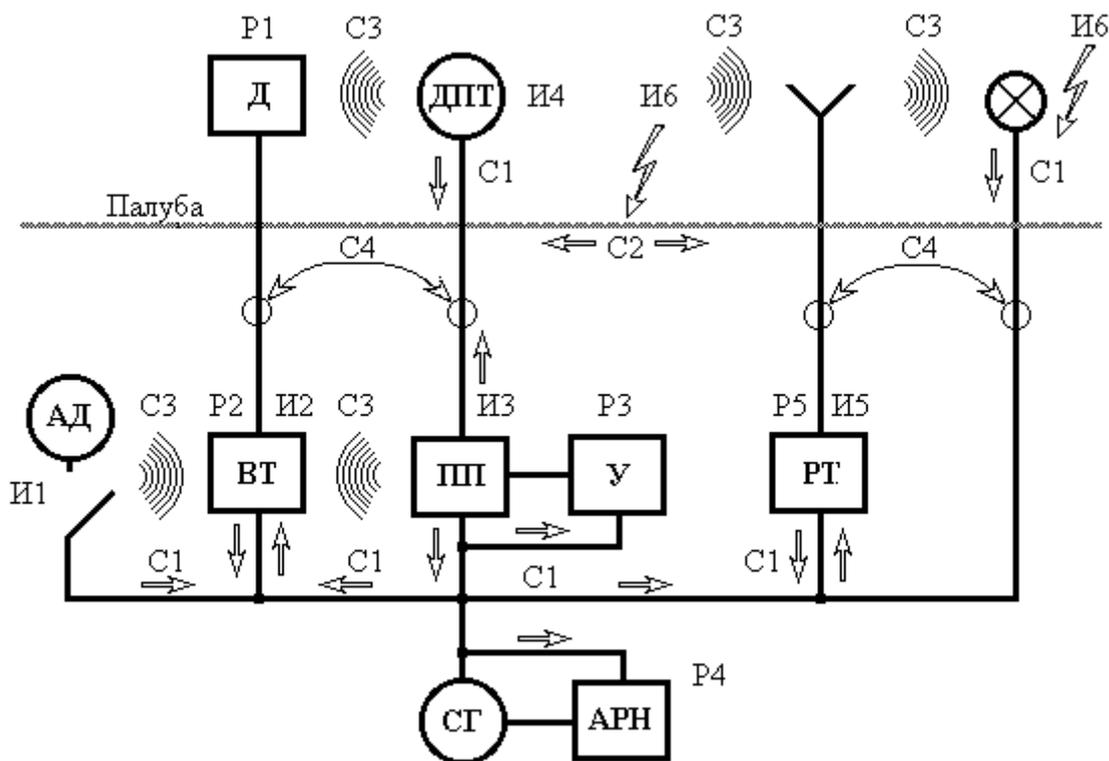


Рисунок 1.1 – Технические средства (ТС) и схема влияний электромагнитных помех: АД – двигатель асинхронный; ВТ - вычислительная техника; ДПТ - электродвигатель постоянного тока; ПП - полупроводниковый преобразователь, У - система управления преобразователя; РТ - радиотехническое оборудование; СГ - синхронный генератор; АРН - система автоматической регулировки напряжения

Влияние электромагнитных помех, наводимых в техническом средстве (ТС) или системе показаны на рис. 1.1:

*И1 - подключение и отключение асинхронного электродвигателя (АД), возникают импульсные напряжения;

*И2 – вычислительная техника (ВТ), создающая помехи в широком диапазоне частот;

*И3 - полупроводниковый преобразователь (ПП), работа которого меняет синусоидальную форму кривой напряжения, при этом возникают помехи: высокочастотные, низкочастотные, импульсные;

*И4 – дуговая сталеплавильная печь (ДСП), создает помехи в широком диапазоне частот;

*И5 – радио транслятор (РТ), создает полезный сигнал, отрицательно влияющий на другое электротехническое устройство;

*И6 – действие внешних технических средств, создающих интенсивные помехи: грозовые разряды молний; магнитные и электрические импульсы, провалы и т.п.

Техническое оборудование принимает на себя различные магнитные и электрические помехи, в результате чего работа любого электротехнического оборудования нарушается при увеличении выше допустимого напряжения,

электрического тока или электромагнитного поля, при этом создавая аварийную ситуацию и выход электрооборудования из работы:

- первичные преобразователи (Д) - P1;
- техника, реагирующая на импульсные воздействия - P2;
- принципиальная электрическая схема управления ВТ в которой может быть нарушен режим работы - P3;
- САУ процесса, принимает сигналы по искажению и изменению напряжения и силы тока - P4;
- РТ, более чувствительное к радиочастотным помехам радиочастотного диапазона - P5;
- снижение ПКЭЭ - отклонение напряжения в ЭС от номинального $U_{ном}$ и нарушение работы всех ЭП на объекте.

ЭМП проникают в технические средства различными путями. В общей сети переменного тока – напряжения и токи протекают по пути С1, по корпусу - С2 также может проходить электрический ток, в результате чего возникают помехи через связи питающих линий от магнитных и электрических полей - С3, в трассе - С4. Известно, что поле наводит токи и напряжения в кабеле, проложенном в непосредственной близости от технического средства. Реально может наблюдаться Одновременная передача ЭМП может реально осуществляться по всем направлениям. В электромагнитной системе из схемы по направлению рассмотрения ЭМС выделяются 3 основные элементы, см. рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Влияние источника ЭМП на рецептор помехи

Источник помех (ИП) - это электротехническое средство или сам физический процесс, которые требуется нормировать и измерять в необходимых условиях. В аппарате создается электромагнитная энергия и перетекает кондуктивным путем в пространстве или под действием физических законов по проводникам.

Рецептор помех (РП) - это электротехническое средство, на которое влияет электромагнитный сигнал (ЭМС) или электрическая и магнитная помеха (ЭМП).

Порог восприимчивости – минимальное значение помехи, на которую реагирует рецептор помех.

Порог невосприимчивости - способность электротехнических средств воспрепятствовать влиянию ЭМП.

Помехоустойчивость, устойчивость к ЭМП - это свойство ТС содействовать стандартному (нормативному) характеру работы оборудования при влиянии на него внешних помех, если необходимые средств защиты от помех отсутствуют.

Помехозащищенность - это действие, направленное на уменьшение влияния ЭМП до *min* значений при употреблении средств защиты от помех.

Механизм связи характеризуется процессом передвижения помехи от источника к рецептору и проходит в двух направлениях.

При перемещении кондуктивных помех к проводящей среде могут быть отнесены: металлические конструкции ТС, цепи электропитания и сигнальные, заземляющие устройства, экраны и т.п. Поддержание оптимальных параметров работы ТС, которые могут подчиниться действию электрического сигнала, помехи (ЭМП) и т.д.; в условиях работы технического средства при действии на них ЭМП, как от механизма связи так и от источника, определяет главную проблему электромагнитной совместимости.

1.2 Терминология и описание электромагнитных помех

В республиканских и международных стандартах приводится терминология по ЭМС, см. табл.1.1-1.8. [1,2,9].

Таблица 1.1 – Классификация помех по характеру их источника

Термин	Источник
1.Естественная помеха	Природные физические явления
2.Искусственная помеха	Устройство, созданное человеком
3.Атмосферная помеха	Электрические разряды в атмосфере
4.Космическая помеха	Излучение Солнца, звезд и галактики
5.Электростатический разряд	Импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами
6.Электростатическая помеха	Стекание накопленных электрических зарядов, электростатические разряды
7.Индустриальная помеха	Технические средства за исключением выходных трактов радиопередатчиков
8.Коммутационная помеха	Процессы коммутации тока и напряжения
9.Контактная помеха	Излучение токопроводящих контактов, среды с нелинейной проводимостью при воздействии на них электромагнитного поля
10.Станционная помеха	Радиостанция, излучающая через антенну

Таблица 1.2 – Перечень помех по признаку механизма их распространения

Термин	Путь распространения	Основная характеристика и единица измерения в СИ
1. Помеха излучения	Пространство	Напряженность электрического поля E , В/м Напряженность магнитного поля H , А/м Плотность потока мощности <u>излучения</u> (для частоты выше 0,3 ГГц) P_s , Вт/м ²
2. Кондуктивная помеха	Проводящая среда	Напряжение U , В Ток I , А

В зависимости от характеристики частоты помехи делятся на:

- высокочастотные, помехи со значением частоты ≥ 9 кГц,
- низкочастотные - с величиной частоты < 9 кГц.

С учетом развития радиотехники диапазон деления по частоте помех регулярно меняется.

Таблица 1.3- Классификация по времени протекания помехи

Термин	Особенность
1. Непрерывная помеха	Уровень помехи не уменьшается ниже определенного значения в регламентированном интервале времени
2. Кратковременная помеха	Длительность помехи, измеренная в регламентированных условиях, меньше некоторой регламентированной величины
3. Регулярная помеха	Возникает и исчезает через определенные промежутки времени
4. Нерегулярная помеха	Возникает и исчезает через различные случайные промежутки времени
5. Непродолжительная помеха	Длительность помехи сравнительно невелика, но больше некоторой регламентированной величины
6. Шумовая помеха	Имеет спектр в виде постоянной величины в определенной частотной полосе
7. Импульсная помеха	Помеха в виде одиночного импульса, последовательности или пачки импульсов
8. Импульсно-шумовая помеха	Имеет спектр, содержащий импульсную и шумовую составляющие

Приведенные в табл. 1.4 параметры обычно дополняют один другого, т.е. при подключении емкости в сеть электропомеха, может характеризоваться как импульсная, кондуктивная, коммутационная или искусственная. В таблицах 1.4 и 1.5 приводятся характеристики импульсных и непрерывных ЭМП, которые в особо воздействуют на радиооборудование. Зависимость напряжения $u(t)$ по времени при использовании формулы Фурье легко преобразовывать в

частотную зависимость напряжения $U(\omega)$. Синусоидальную форму помех по частоте характеризуют такие действующие значения как: напряженность магнитного и электрического поля, ток, напряжение.

Таблица 1.4 - Параметры непрерывных помех

Помеха	Описание	Спектр
1. Синусоидальная	Зависимость от времени $u(t) = U_M \sin(\omega_n t + \psi_n)$. Основные параметры $U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}; \omega_n$	
2. Модулированная	Зависимость от времени $u(t) = U_M(t) \sin(\omega(t)t + \psi(t))$, где $U_M(t) = U_M \sin(\Omega t)$. Основная характеристика $U(\omega)$	

Для характеристик значений сигналов и помех в радиотехнике и области электромагнитной совместимости применяются относительные величины. Вместо абсолютных и выражаются отношениями мощностей в логарифмическом масштабе (формула Белла (бел (Б)):

$$P[\text{Б}] = \lg\left(\frac{P[\text{Вт}]}{P_0[\text{Вт}]}\right), \quad (1.1)$$

где P_0 - базовая мощность.

С целью упрощения расчетов для логарифмических единиц можно заменить действия «умножение и деление» на «сложение и вычитание». При расчетах в настоящее время рекомендуется использовать величину - децибел (дБ), которая \geq величины бел в 10 раз:

$$P[\text{дБ}] = 10 \lg\left(\frac{P[\text{Вт}]}{P_0[\text{Вт}]}\right). \quad (1.2)$$

На резисторе R , с учетом приложенного к нему напряжения, мощность обычно записывается по формуле $P = U^2/R$. Т.е. отношение мощностей можно также записать как отношения напряжений, смотри след. формулу:

$$10 \lg\left(\frac{P[\text{Вт}]}{P_0[\text{Вт}]}\right) = 10 \lg\left(\frac{U^2[\text{В}]R}{U_0^2[\text{В}]R}\right) = 20 \lg\left(\frac{U[\text{В}]}{U_0[\text{В}]}\right).$$

При расчете напряжения U в децибелах к ее базовой величине $U_0 = 10^{-6}$ возникает коэффициент, равный 20:

$$U[\text{дБ}] = 20 \lg\left(\frac{U[\text{В}]}{10^{-6}[\text{В}]}\right). \quad (1.3)$$

Расчет абсолютной величины U осуществляется выражением 1.4.

$$U[\text{В}] = 10^{-6}[\text{В}] \cdot 10^{\frac{U[\text{дБ}]}{20}}. \quad (1.4)$$

Более эффективно использовать значения величин U, I, E, H , указанные на рис 1.3, если возникнет необходимость, в децибелы и обратно. Требуется при этом учитывать, что удвоение искомой величины отвечает ее увеличению на 6 дБ, а изменение в 10 раз – увеличению на 20 дБ.

Значение мощностей определяются следующими соотношениями:

$$P(\text{дБ} \cdot \text{пВт}) = P(\text{дБ} \cdot \text{мВт}) + 90(\text{дБ}) = P(\text{дБ} \cdot \text{Вт}) + 120(\text{дБ}).$$

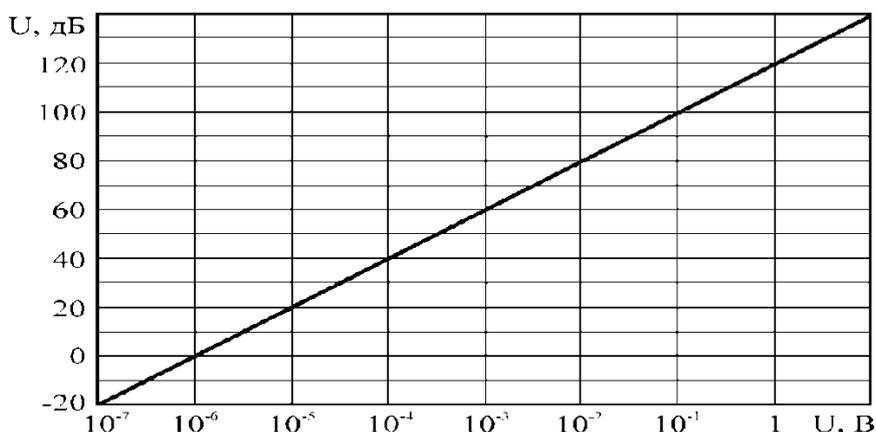


Рисунок 1.3 - Соотношение относительной величины мощности с абсолютным значением

Характеристика импульсных помех показана в табл. 1.5:

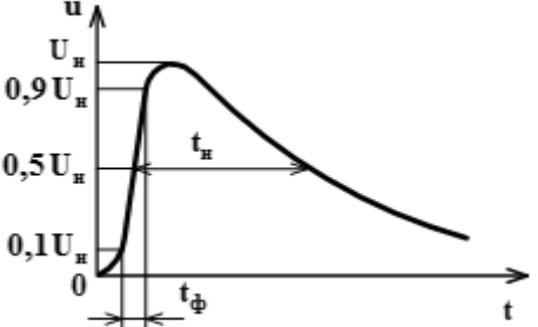
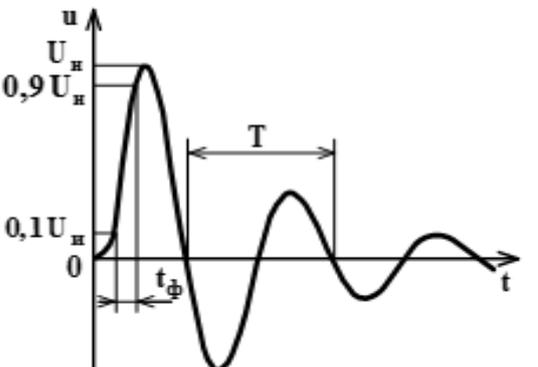
- апериодический импульс характеризуется размахом (амплитудой) $U_{и}$, продолжительностью фронта $t_{ф}$, отрезком (длительностью) импульса $t_{и}$;
- колебательный импульс характеризуется размахом (амплитудой) $U_{и}$, временем колебаний T , точкой затухания колебаний.

За счет напряжения помехи в электрической цепи создается рабочее напряжение, как разность U в электрической цепи. Мах значение импульсной помехи вычисляется через отклонение действующего U от его рабочего значения. Параметры напряженностей магнитных и электрических полей, импульсы токов определяются аналогично предыдущим показателям.

Классификация и перечень электромагнитных помех с учетом влияния и отношения ее к ТС показаны в табл. 1.6 – 1.8. Основным показателем, при

прохождении помехи является «порт», который характеризует границы между ТС и внешней электромагнитной средой.

Таблица 1.5 – Характеристики импульсных помех (ИП)

Термины, описывающие особенности импульса	Используемые параметры	Осциллограмма
1. Аперiodический, однополярный, (экспоненциальный импульс, <u>видеоимпульс</u>)	- амплитуда $U_{и.}$ - длительность фронта $t_{ф.}$ - длительность импульса $t_{и.}$	
2. Колебательный импульс (<u>радиоимпульс</u> , <u>звон</u>)	- амплитуда $U_{и.}$ - период колебаний T , - степень затухания колебаний.	

Порты ТС подразделяются на:



Таблица 1.6- Классификация по отношению помехи к рецептору

Термин помехи	Особенность
1.Узкополосная	Ширина спектра помехи меньше или равна ширине полосы пропускания рецептора
2.Широкополосная	Ширина спектра помехи больше полосы пропускания рецептора
3.Внешняя	Источник помехи находится вне рецептора
4.Внутренняя	Источник помехи находится внутри рецептора
5.Межсистемная	Источник помехи находится в системе, не относящейся к рассматриваемой
6.Внутрисистемная	Источник помехи находится внутри рассматриваемой системы

Параметры, характеризующие виды кондуктивных помех (см. табл. 1.7), которые прикладываются к рецептору с учетом рабочего напряжения между корпусом электротехнического устройства (землей) и проводами. В электроэнергетике в настоящее время используются «симметричные» и «несимметричные» электромагнитные помехи, которые рассчитываются по выражениям, см. табл. 1.7. Такие помехи, перетекая по проводам с разной скоростью, влияют на рецептор неодинаково.

Таблица 1.7- Кондуктивные помехи различного вида

Термин	Определение	Схема приложения помех к рецептору
1.Симметричные, нормального вида (normal mode), дифференциальные, поперечные	$u_C = u_1 - u_2$ $i_C = (i_1 - i_2)/2$	
2.Несимметричные, общего вида (common mode), синфазные, продольные	$u_{HC} = (u_1 + u_2)/2$ $i_{HC} = (i_1 + i_2)/2$	

В электроэнергетике также применяют такие выражения как: «интермодуляционная помеха» и «блокирующая» (табл. 1.8).

Таблица 1.8 - Классификация помех по реакции на технические средства

Помеха	Особенность
1. Допустимая	Помеха, при которой качество функционирования технического средства, подверженного ее воздействию, сохраняется на заданном уровне
2. Недопустимая	Помеха, воздействие которой снижает качество функционирования технического средства до недопустимого уровня
3. Приемлемая	Помеха, превышающая допустимую и устанавливаемую путем соглашения
4. Блокирующая	Помеха вне полосы пропускания, приводящая к уменьшению коэффициента усиления тракта радиоприемного устройства
5. Интермодуляционная	Помеха в полосе пропускания приемника, возникающая в его тракте при преобразовании двух или более сигналов с частотами вне полосы пропускания

Требования ГОСТ ИЕС 61000-2-5 учитывают для поддержания ЭМС и ЭМО и устанавливают необходимый перечень видов электромагнитных помех:

1. Кондуктивные низкочастотные ЭМП:

- 1.1. Колебания напряжения электропитания.
- 1.2. Отклонение напряжения электропитания.
- 1.3. Несимметрия напряжений в 3-х фазных СЭС.
- 1.4. Изменения частоты питающего напряжения.
- 1.5. Гармоники напряжения электропитания.
- 1.6. Выбросы напряжения электропитания.
- 1.7. Наведенные низкочастотные напряжения и т.;

2. Излучаемые низкочастотные ЭМП:

- 2.1. Электрические поля.
- 2.2. Магнитные поля.

3. Кондуктивные высокочастотные ЭМП:

- 3.1. Колебательные переходные процессы.
- 3.2. Наведенные напряжения.
- 3.3. Токи непрерывных колебаний.
- 3.4. Аперiodические переходные процессы.

4. Излучаемые высокочастотные ЭМП:

- 4.1. Электрические поля.
- 4.2. Магнитные поля.
- 4.3. Электромагнитные поля

5. Электростатические разряды.

Для характеристики электромагнитной обстановки (ЭМО) необходимо иметь нормативные требования и показатели, которые должны соответствовать появляющимся электромагнитным явлениям и процессам, т.к. отсутствует необходимая информация или принятая система слишком сложная. В ГОСТе IEC 61000-2-5 включены общие характеристики ЭМО, но при этом отсутствуют конкретные требования по ЭМС.

1.3 Основные рекомендации для обеспечения электромагнитной безопасности (ЭМБ)

Уровни помех, которые создаются источниками технических устройств или собственными источниками, относятся к случайным величинам и зависят от режимов работы электроэнергетических систем и источников питания, условий перемещения временно изменяющихся помех.

Использование необходимых средств и методов, с целью подавления помех в источнике, снижают уровень $U_{П.МАКС}$. Для снижения помехи до значения $U_{С.МИН}$ рекомендуется применять определенные методики и электротехнические помехозащитные средства, для улучшения помехоустойчивости электротехнического и электронного оборудования. В настоящее время технически сложно осуществить и подготовить идеальное решение для поддержания необходимой электромагнитной обстановки с учетом ЭМБ и практически не будет экономически оправдано, т.к. применение необходимых средств помехозащиты, правильного размещения оборудования потребует дополнительных затрат. Для этого рекомендуется обеспечивать основное соотношение $U_{П.МАКС} < U_{С.МИН}$ при наличии всех видов помех и их возможные механизмы связи.

На рисунке 1.4 представлены минимальные затраты для поддержания электромагнитной безопасности, принятые за единицу. Они устанавливаются на первом этапе при подготовке задания для выбора технического и электронного ЭО с обязательным контролем выполнения нормативов. В том случае, если при проектировании системы электроэнергетики не учитываются требования по ЭМБ, то расходы на ее монтаж и эксплуатацию многократно увеличиваются за счет дополнительных затрат, что приводит к большим сложностям от несовместимости ТС при работе в производственных условиях, т.к. для поддержания электромагнитной безопасности потребуются различные изменения: при прокладке питающих линий, при замене оборудования и другие мероприятия, требующие больших денежных вложений. В таблице 1.9 приведены термины по обеспечению электромагнитной безопасности с учетом стандартов и нормативных документов.

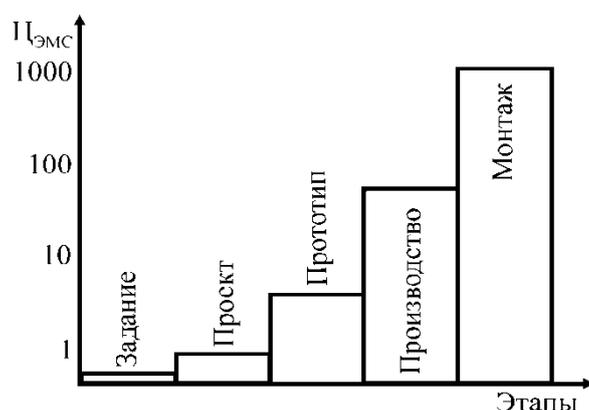


Рисунок 1.4 –Относительные затраты для обеспечения ЭМС

Все нормативные документы обязаны учитывать определенную типовую помеховую обстановку. Смысл этих требований состоит в том, чтобы помехи, создаваемые электротехническим оборудованием, не достигали опасного уровня, а гарантировали работоспособность технических средств в определенной обстановке при наличии достаточного уровня их помехоустойчивости.

Таблица 1.9 - Термины по обеспечению электромагнитной безопасности

Наименование терминов	Определение
1.Сертификация ТС на соответствие требованиям ЭМС	Мероприятия, в результате которых удостоверяется соответствие определенного типа технического средства требованиям государственных, международных или иных нормативно-технических документов, регламентирующих характеристики ЭМС посредством выдачи предприятию-изготовителю сертификата
2.Организационное обеспечение ЭМС	Организационные решения, постановления, нормативно-технические документы, направленные на исключение или снижение до приемлемого уровня электромагнитных помех между техническими средствами
3.Техническое обеспечение ЭМС	Технические решения, направленные на улучшение характеристик ЭМС
4.Экспертиза ЭМС	Экспериментальное, теоретическое исследование состояния обеспечения ЭМС технического средства в заданной электромагнитной обстановке
5.Подавление помех	Мероприятия, имеющие целью ослабление или устранение влияния помех
6.Защита от помех	Мероприятия, имеющие целью повышение помехоустойчивости и помехозащищенности ТС
7.Биологическая защита	Обеспечение регламентированных уровней электромагнитных излучений соответствующих установленным санитарными нормами

Рекомендуется обеспечивать соответствие различного электротехнического оборудования требованиям нормативов по ЭМБ, которые должны включать результаты электромагнитного влияния ТС на человека и на животных (биологические объекты). На рабочих местах и в месте пребывания биологических объектов допустимые уровни ЭМ поля нормируются санитарными показателями.

Соответствующие знания, выполнение нормативов и стандартов, помогут:

- выработать необходимые требования по ЭМБ;
- разработать программу, для получения результата по их применению;
- определить задачу, смысл, результат определенных требований;
- выполнить особые экспериментальные работы для избежания ошибок.

Знание и применение стандартов, норм, рекомендаций в области ЭМБ окажут необходимую помощь при планировании требований с целью обеспечения электромагнитной обстановки в каждой конкретной ситуации, а также требований к приобретаемому электро и техническому оборудованию.

2 ПОМЕХИ И ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

2.1 Основные источники помех в электроэнергетических системах

Работа различных технических средств, возникающие электромагнитные переходные процессы в ЭЭС являются источниками электромагнитных помех. Постоянно или периодически возникающие изменения электрического тока, напряжения, напряженностей электрического и магнитного полей, относящиеся к одному явлению, рассматриваются как разные виды помех, которые всячески влияют на электро и технологическое оборудование .

Работа электрооборудования или сам процесс в ЭЭС сопровождается электромагнитными явлениями, которые сопровождаются практически всеми видами ЭМП. На промышленных объектах могут присутствовать различные виды источников помех:

а) импульсные помехи - при включении электроприемников, за счет отклонения значения питающего напряжения от номинального;

б) большое число и разнообразие помех- за счет периодического изменения напряжения, тока, магнитных и электрических полей;

в) создание перенапряжений и появление импульсных помех - при отключении индуктивных цепей или включении конденсаторных установок (емкостей);

г) импульсные помехи и широкополосный электромагнитный шум - при однофазных замыканиях на корпус, при включении газоразрядных ламп, электродвигателей и т.д.;

д) широкополосные помехи – при работе компьютеров и интерфейсных систем;

е) узкополосные помехи – при работе радиоэлектронного оборудования;

ж) импульсные помехи разной амплитуды – при атмосферных явлениях;

з) особые виды помех – при появлении статического электричества.

2.2 Полупроводниковые преобразователи электрической энергии

2.2.1 Процесс возникновения помех при преобразовании электроэнергии

На производственных предприятиях часто используются п/п преобразователи (выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, регуляторы переменного напряжения, преобразователи постоянного тока) , которые служат и обеспечивают преобразование ЭЭ по роду тока, напряжению, частоте. Они могут применяться, как отдельные устройства, и входить в состав вторичных источников питания для большого разнообразия электротехнического и электронного оборудования.

Принцип работы преобразователей данного типа заключается в постоянном изменении напряжения и электрического тока, в постоянном

переключении цепей, в создании импульсных и несинусоидальных составляющих, которые обычно определяются токами симметричных электромагнитных помех. Параметром входной цепи п/п преобразователей является сопротивление индуктивности X_{Π} . Согласно законов физики, при протекании по нему тока i , напряжение на эквивалентном сопротивлении источника ЭЭ X_C снижается (рис. 2.1).

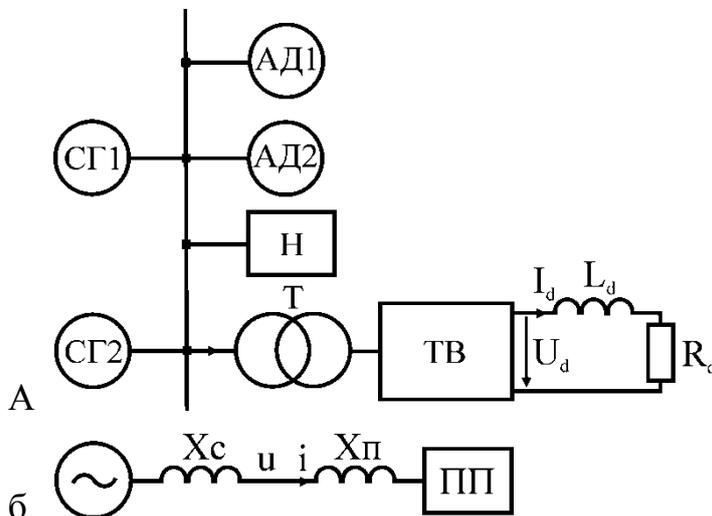


Рисунок 2.1 – Оценка влияния полупроводниковых преобразователей на питающее напряжение: а – структура ЭЭС; б – схема замещения

Напряжение в сети определяется по формуле

$$u(t) = e - L_C \frac{di(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

где e – ЭДС источника электроэнергии (синхронных генераторов);

$L_C = X_C / \omega$ – эквивалентная индуктивность источника электроэнергии;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота питающего напряжения.

Падение напряжения на X_C приближается к величине эдс источника электроэнергии e , выражается небольшой величиной, которой можно пренебречь, если удельная мощность полупроводникового преобразователя намного меньше мощности генераторов в самой системе ($X_C \ll X_{\Pi}$). При росте относительной мощности п/п преобразователя ≥ 1 по сравнению с мощностью генераторов напряжение U снижается более заметно, в итоге чего появляются искажения U в сети, которые характеризуются напряжением симметричных электромагнитных помех.

Несимметричные кондуктивные помехи, передаваемые контактным способом, возникают при коммутациях ключей в виде импульсных магнитных и электрических полей что влияет на появление колебаний в основных и паразитных цепях преобразователя.

2.2.2 Работа управляемого выпрямителя. Возникновение помех.

Мостовые управляемые выпрямители в настоящее время находят широкое применение. При их работе появляются постоянно повторяющиеся импульсы

напряжения, за счет коммутации тиристоров (рис. 2.1, 2.2), за счет чего в преобразователях начинаются колебательные процессы, которые вызывают появление высокочастотных импульсных помех.

Помехи данного вида рассчитываются при следующих условиях:

- активное сопротивление $R_d \leq$ индуктивного сопротивления нагрузки ωL_d ;
- на процесс включения и выключения преобразователя емкость не оказывает влияния;
- активные сопротивления некоторых участков электрической сети обладают малыми значениями;
- тиристоры (вентили) идеальны;
- импульсные изменения напряжения не влияют на работу мостовых управляемых вентиляей;

При расчете схему с выпрямителем рекомендуется представить расчетной схемой, см. рис. 2.2, а., где все параллельно работающие генераторы системы заменяются одним генерирующим устройством, выражаются суммой их мощностей (для 3-хфазной симметричной системы синусоидальных электродвижущих сил e_A, e_B, e_C), при последовательном соединении с равнозначным реактивным сопротивлением X_C и индуктивным сопротивлением трансформатора X_T .

Возникновение искажений напряжения, можно представить Временная диаграмма, характеризующая появление искажения напряжения изображена на рис. 2.2, б.

Емкостное сопротивление X_C определяется по формуле:

$$X_C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_{CG}} \frac{1}{X_{CG,i}} + \sum_{j=1}^{N_{AD}} \frac{1}{X_{AD,j}}}, \quad (2.2)$$

где $X_{CG,i}$ - коммутационное сопротивление генератора с i позицией;

N_{CG} - число синхронных генераторов;

$X_{AD,j}$ - сопротивление к.з. асинхронного двигателя с позицией j ;

N_{AD} - число асинхронных двигателей в системе.

Для электрогенератора Коммутационное сопротивление X_{CG} для электрогенератора ориентировочно равно сопротивлению обратной последовательности X_2 , в относительных единицах $X_2^* \approx X_d''$. Одна относительная единица (о.е.) сопротивления выражает отношение напряжения $U_{\phi,H}$ к величине тока I_H , через линейное номинальное напряжение $U_{Л,Н}$ и полную номинальную мощность электроустановки S_H :

$$1 \text{ о.е.} = \frac{U_{\phi,H}}{I_H} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi,H}U_{Л,Н}}{\sqrt{3}I_H U_{Л,Н}} = \frac{U_{Л,Н}^2}{S_H}.$$

Сопротивление синхронного генератора характеризуется выражением:

$$X_2 = \frac{X_2^* U_{Г.Н}^2}{S_{Г.Н}}, \quad (2.3)$$

где $U_{Г.Н}$ и $S_{Г.Н}$ – линейное номинальное напряжение (В) и полная номинальная мощность (кВА) синхронного генератора.

Для асинхронного электродвигателя сопротивление к.з. $X_{АД}$ определяется по формуле:

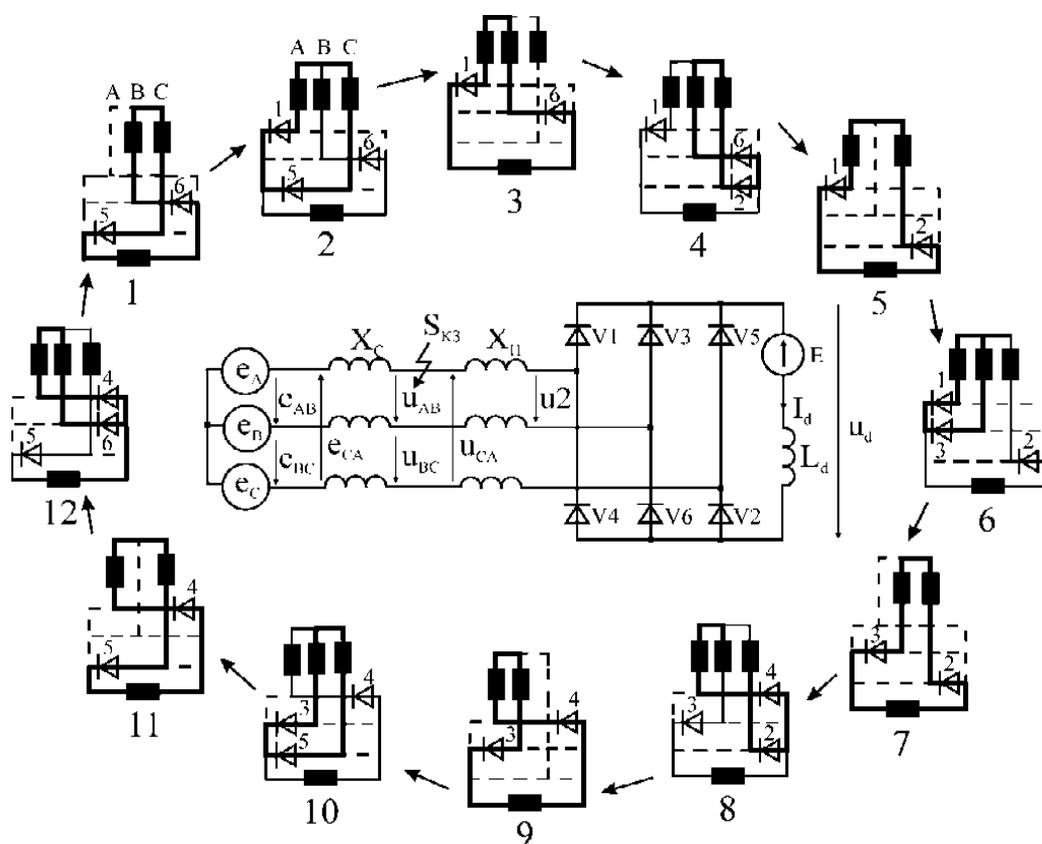
$$X_{АД} = \frac{X_{АД}^* U_{АД.Н}^2}{S_{АД.Н}}, \quad (2.4)$$

где $U_{АД.Н}$ и $S_{АД.Н}$ – линейное номинальное напряжение и номинальная полная мощность исследуемого асинхронного двигателя (АД), $X_{АД}^* \approx 0,16$ о.е.

Индуктивное сопротивление к.з. трансформатора или реактора выпрямителя можно выразить через $X_{П}$:

$$X_{П} = \frac{U_K^* U_{Т.Н}^2}{S_{Т.Н}}, \quad (2.5)$$

где U_K^* , $U_{Т.Н}$, $S_{Т.Н}$ – напряжение к.з. трансформатора в относительных единицах (лежит в пределах 0,03–0,06), линейное номинальное напряжение и номинальная полная мощность (при $K_T = 1$).



а)

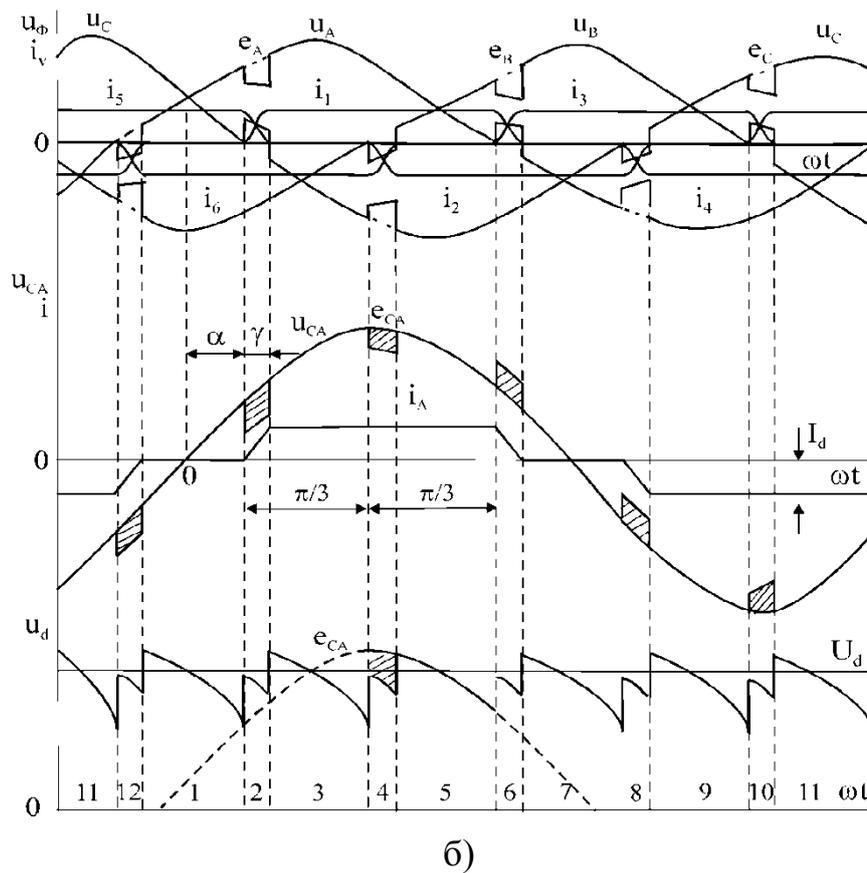


Рисунок 2.2 - Помехи, возникающие при работе управляемого выпрямителя: а – эквивалентная схема и порядок переключения тиристоров в схеме выпрямителя; б – временные диаграммы напряжений и токов

Импульсные помехи U_{II} характеризуются мах отклонением от синусоиды на интервалах 2 и 8 (рис.2.3):

$$U_{II} = E_m \sin(\alpha + \gamma) \frac{X_c}{X_c + X_{II}}, \quad (2.6)$$

где α – угол управления;
 γ – угол коммутации тиристоров.

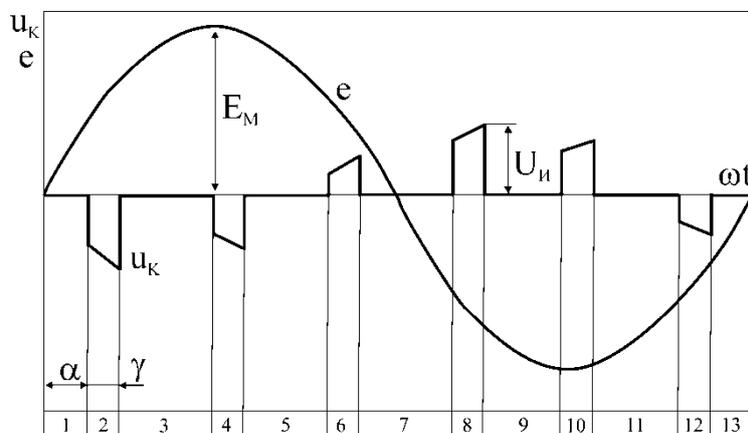


Рисунок 2.3 - Искажения напряжения как сумма идеальной синусоиды e и импульсных помех u_K

Параметры помех и влияние их на качество напряжения при работе других схем преобразователей могут быть оценены аналогично. Влияние на качество напряжения будет меньше, если одновременно работают большое количество преобразователей, при условии работы одного преобразователя общей суммарной мощности.

Значение коэффициента несинусоидальности помогает оценить содержание и дать характеристику высшим гармоникам в U электрической цепи, значение которого должно быть меньше 10% или 0,1 (о.е):

$$K_{НС} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{40} U_v^2}}{U_1} \times 100\% , \quad (2.7)$$

где U_1, U_v – действующее значение гармоник напряжения, В.

2.2.3 Работа преобразователей постоянного тока. Возникновение помех.

В состав вторичных источников питания в настоящее время входят Преобразователи постоянного тока ШИМ - широтно-импульсной модуляции, полупроводниковые (ППП), ЧИМ - частотно-импульсной модуляции. Именно при них появляется изменение продолжительности включенного состояния нагрузки либо меняется частота преобразования. Схемы полупроводниковых преобразователей не одинаковы, различие заключается в потреблении из питающей сети определенные импульсы тока, характеризующиеся частотой преобразования $f_{II} = 1/T_{II}$ (рис. 2.4-2.5).

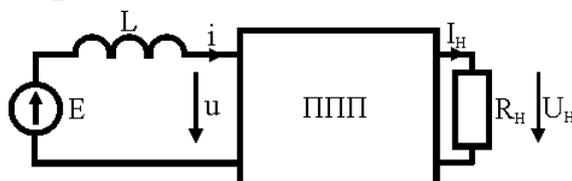


Рисунок 2.4 - Схема преобразователя постоянного тока для расчета импульсных помех

Напряжение на клеммах источника питания характеризуется формулой (2.1):

$$u(t) = E - L \frac{di(t)}{dt} , \quad (2.8)$$

где L – индуктивность,

E – ЭДС источника питания.

На величину импульсов напряжения оказывает влияние изменение тока (см. рис. 2.5).

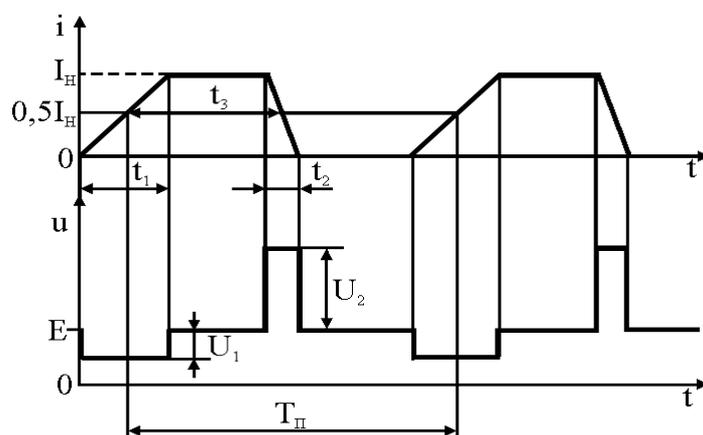


Рисунок 2.5 - Графики изменения основных параметров преобразователя ПТ: силы тока и напряжения

Размах импульсов напряжения U_1 , U_2 характеризуется скоростью воздействия тока на индуктивность L , а их продолжительность характеризуется длительностью нарастания t_1 и снижения t_2 тока. При работе ШИМ меняется время t_3 , а при ЧИМ продолжительность $T_П$.

Расчет помех, создаваемых определенной схемой полупроводникового преобразователя, характеризуется значением энергетической или спектральной характеристикой с учетом негативных параметров соответствующей структуры преобразователя. Конструктивные расположения элементов ППП определяют уровни несимметричных помех, а уровни симметричных помех - схему преобразователя.

2.3 Коммутация емкостных и переменных резистивных нагрузок

2.3.1 Модель для расчета импульсных помех при включении нагрузок

Возникновение переходного процесса и изменение напряжения в ЭЭС описывается включением различного вида нагрузки H : синхронными генераторами (СГ), асинхронными двигателями (АД), питающими кабелями, структурой сети, другими потребителями ЭЭ.

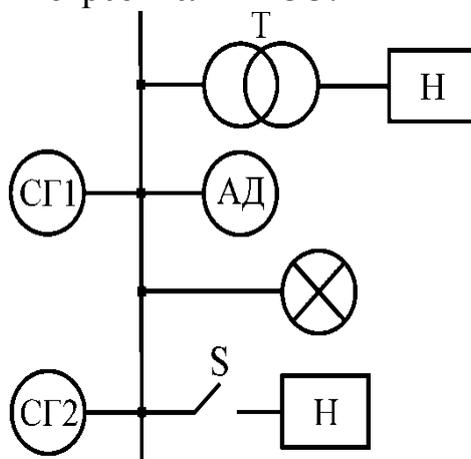


Рисунок 2.6 - Схема при включении различной нагрузки для ЭЭС

На основе схем замещения для расчета изменения действующего значения напряжения, см. рис. 2.7. возможно определение снижения напряжения при координировании потребителей. Резкие снижения напряжений в ЭС регулируются системой автоматики и при подаче питания в электрическую сеть появляется возможность не снизить, а повысить напряжение при создании полной компенсации.

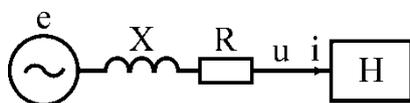


Рисунок 2.7 - Схема замещения

Согласно ГОСТ ИЕС 61000-3-3 расчет провалов напряжения В электрических сетях ~ тока расчет резкого снижения напряжения рассчитывается с учетом, что величины фазных сопротивлений $R_{\phi} = 0,24$ Ом, $X_{\phi} = 0,15$ Ом и сопротивление нейтрали $R_N = 0,16$ Ом, $X_N = 0,1$ Ом отвечают представленным значениям.

Благодаря схемам замещения (рис. 2.8) появляется случай рассчитать импульсные ЭМП микросекундной длительности, которые индуцируются в источнике напряжения e при определенных числовых значениях индуктивности $L = 10 \dots 100$ мкГн и сопротивления $R = 5 \dots 50$ Ом. Значение электромагнитных помех (при включении конденсаторов с соизмеримой емкостью) рассматривают числовое значение равноценной емкости сети C , которая не должна быть ≥ 10 нФ. При переключении электрической нагрузки H появляется переходный процесс, что приводит к недолгой трансформации напряжения в сети от ЭДС источника питания e , т.е. к возникновению импульсных помех, налагаемых на ~ напряжение.

Для точного определения микросекундных переходных процессов в ЭС представлена схема замещения (рис. 2.8, б), а для примерной оценки амплитуды ИП можно использовать схему см. 2.8, а. При отсоединении электрической нагрузки необходимо считаться с вероятностью возникновения дуги между разъединяющимися контактами аппарата выключения, который при замыкании контактов может быть заменен идеальным ключом.

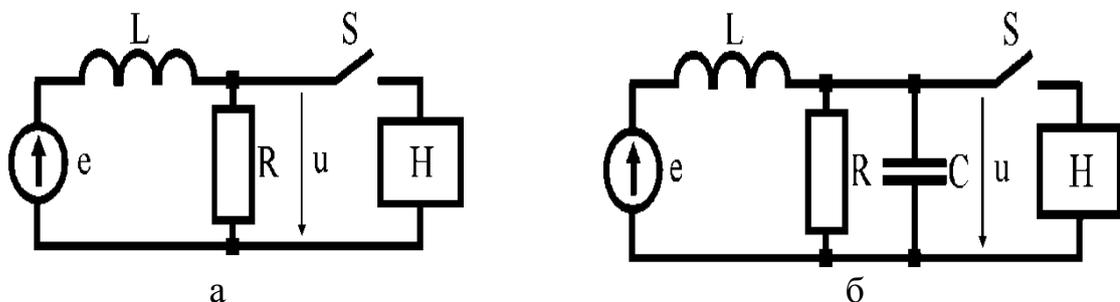


Рисунок 2.8 - Схемы замещения

2.3.2 Включение активной нагрузки

Подача питания на активные нагрузки (электрические машины, нагревательные элементы, осветительные лампы и т.п.) вызывает в сети трансформацию мгновенного значения U (рис. 2.9). До замыкания контактов выключателя U нагрузки изменяется по \sin закону с частотой сети электропитания «~» тока или соответствует $U_{раб}$ в сети «-» тока. В случае включения нагрузки возникает снижение мгновенного значения U , после чего оно возобновляется по экспоненциальной кривой. При включении нагрузки с малым сопротивлением могут индуцироваться импульсы $тах$ амплитуды и длительности.

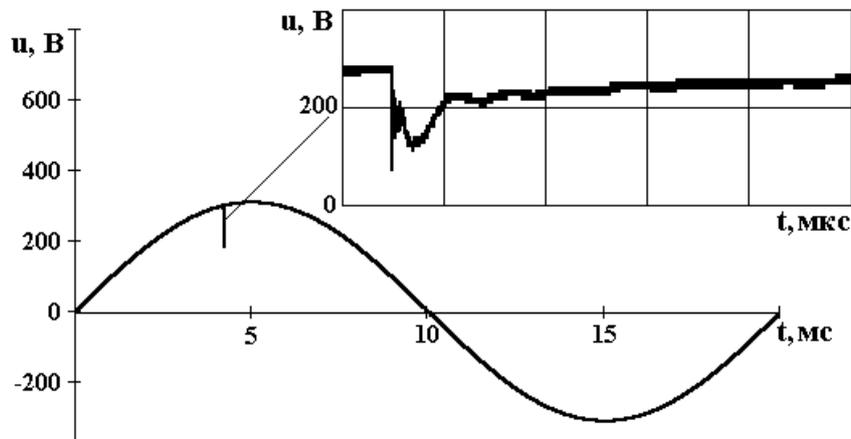


Рисунок 2.9 – Диаграмма изменения напряжения

Расчет параметров импульсных помех возможно провести, используя рис.2.8 если заменить нагрузку H на резистор R_H . Приемники электроэнергии, не имеющие на своих клеммах емкостных элементов, можно подменить активным сопротивлением R_H . Изменение U с учетом схемы замещения и включенного в электрическую цепь активного резистора R_H определяется выражением:

$$u = e \left[1 - \frac{R}{R + R_H} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (2.9)$$

где $\tau = \frac{L(R + R_H)}{RR_H}$, при замыкании контактов выключателя момент $t = 0$

Наибольшее значение импульсной помехи при подаче питания на нагрузку \leq наибольшего значения напряжения $U_{ф.м}$ на фазах сравнительно корпуса электроустановки и наибольшего значения напряжения $U_{л.м}$ между фазами. Область распространения в пределах 10^{-1} – 10^2 мкс характеризуется продолжительностью импульсов.

2.3.3 Включение конденсаторов

Появление мгновенного значения напряжения (рис. 2.10) и резкое снижение напряжения до начального напряжения на конденсаторе, а затем возврат по колебательной кривой возникает в электрической сети в момент включения конденсаторов или цепей с конденсаторами.

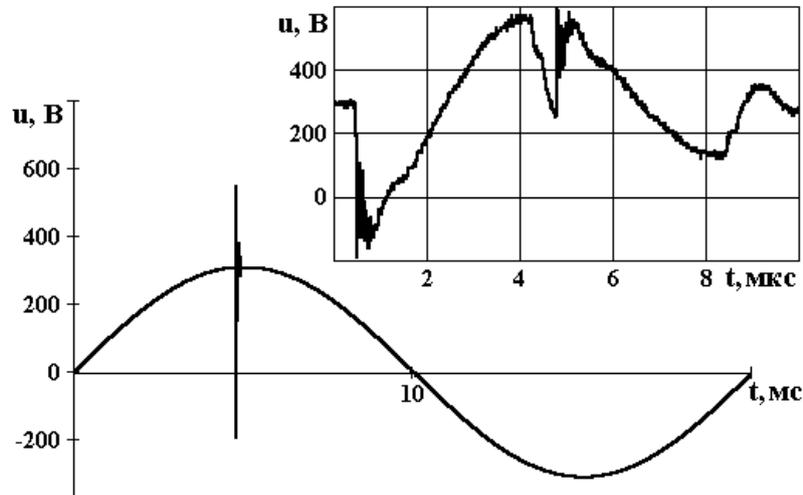


Рисунок 2.10 - Изменение напряжения при включении емкостных цепей

На основе схемы замещения (см. рис. 2.8), при замене нагрузки N на конденсатор C_H возможно провести расчет величин импульсных помех микросекундной продолжительности и напряжения заряда конденсатора, при условии что $-U_m < U_{CH} < U_m$,

где U_m – амплитудное (синусоидальное) значение напряжения в ЭС.

Изменение напряжения в электросети при включении конденсатора C_H характеризуется выражением

$$u = e - (e - U_{CH}) \exp\left(-\frac{t}{2RC_H}\right) \left(\cos \omega t - \frac{1}{2RC_H \omega} \sin \omega t\right), \quad (2.10)$$

где момент $t = 0$ соответствует моменту замыкания контактов выключателя.

Круговая частота может быть представлена следующей формулой:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_H}} \sqrt{1 - \frac{L}{4R^2 C_H}}.$$

При этом следует учитывать, что амплитуда импульса соответствует модулю разности Э.Д.С. в сети при включении ЭУ и напряжению заряда конденсатора:

$$U_{и} = |e - U_{CH}|. \quad (2.11)$$

Помеха не возникает при включении конденсатора в сеть и условии равенства напряжения в сети напряжению заряда конденсатора. Максимальная амплитуда помехи наблюдается при разной полярности напряжения U_{CH} и электродвижущей силы e (рис. 2.11).

Время возникновения колебаний:

$$T = \frac{4}{\omega} \arctg(2RC_H \omega). \quad (2.12)$$

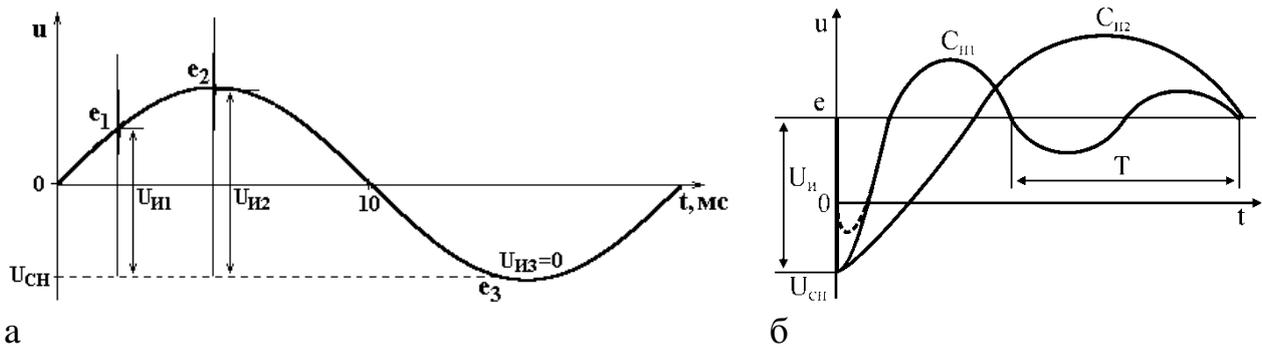


Рисунок 2.11 - Характеристика помех: а – при подключении конденсатора, заряженного до величины U_{CH} , в определенные периоды времени; б – при включении конденсатора с параметрами емкости $C_{H1} < C_{H2}$

Включение конденсатора с большей емкостью приводит к появлению импульсных помех большей длительности с несколько большей амплитудой, см. формулу 2.12.

2.3.4 Включение трехфазных электрических нагрузок

При работе 3-хфазной нагрузки из-за неодновременности замыкания контактов выключателя создаются несколько импульсных помех (рис. 2.12), которые представлены выражением (2.13). Сопротивление по цепи «фаза – корпус» для таких технических средств как: электронагреватели, электродвигатели, источники питания, сопротивление по цепочке «фаза – корпус» значительно \geq междуфазного сопротивления при протекании переходного процесса и поэтому не учитывается в расчетах. Если замыкается первая пара контактов аппарата переходного процесса в цепи не возникает, при соединении второй пары контактов (момент t_1) электрическая нагрузка подключается на линейное напряжение (для определенности АВ). В это время между фазами А и В возникает импульсная помеха с амплитудой (см. 2.13)

$$U_{И.АВ} = \frac{R}{R + R_H} |e_{AB}| = \frac{R}{R + R_H} U_{Л.М} \left| \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right|,$$

где $\alpha = \Omega t_1$ - угол включения, рассчитывается через номинальную частоту $f_H = 50$ Гц тока в электрической сети $\Omega = 2\pi f_H$ и момент замыкания контактов выключателя t_1 .

Значения импульсных помех, наложенных на фазные и линейные напряжения, рассчитываются через амплитуду $U_{И.АВ}$ по выражению:

$$U_{И.А} = U_{И.В} = U_{И.СА} = U_{И.ВС} = \frac{1}{2} U_{И.АВ}; \quad U_{И.С} = 0. \quad (2.13)$$

На фазе С создается импульсная помеха с амплитудой при соединении последней пары контактов аппарата.

$$U_{И.С} = \frac{R}{R + R_H} |e_C| = \frac{R}{R + R_H} U_{Ф.М} \left| \sin\left(\alpha + \beta + \frac{2\pi}{3}\right) \right|,$$

где $\beta = \Omega(t_1 - t_2)$ - угол запоздания замыкания последней пары контактов аппарата.

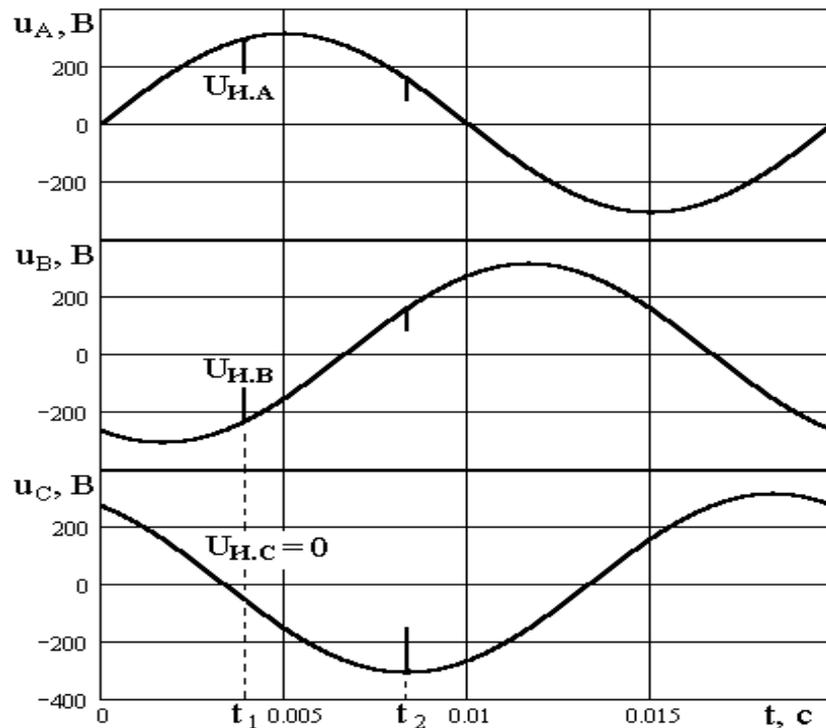


Рисунок 2.12 – Характеристика импульсных помех в 3-фазной сети при включении 3-фазной нагрузки: t_1 – время замыкания контактов выключателя в фазах А и В; t_2 – время замыкания контактов выключателя в фазе С

Значения импульсных помех в 3-фазной сети при включении 3-фазной нагрузки на отдельных фазах и между фазами характеризуются выражениями:

$$\begin{aligned}
 U_{и.А} &= U_{и.В} = \frac{1}{2} U_{и.С}; \\
 U_{и.ВС} &= U_{и.СА} = \frac{3}{2} U_{и.С}; \\
 U_{и.АВ} &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

При схеме соединения батареи конденсаторов «звезда» с нулевой точкой, соединенной с корпусом электроустановки, импульсные помехи появляются при замыкании каждой пары контактов выключателя (рис. 2.14). Максимальное значение импульсных помех в данной ситуации зависит от U заряда конденсаторов C_H и емкости сети C_C , от порядка и углов замыкания контактов.

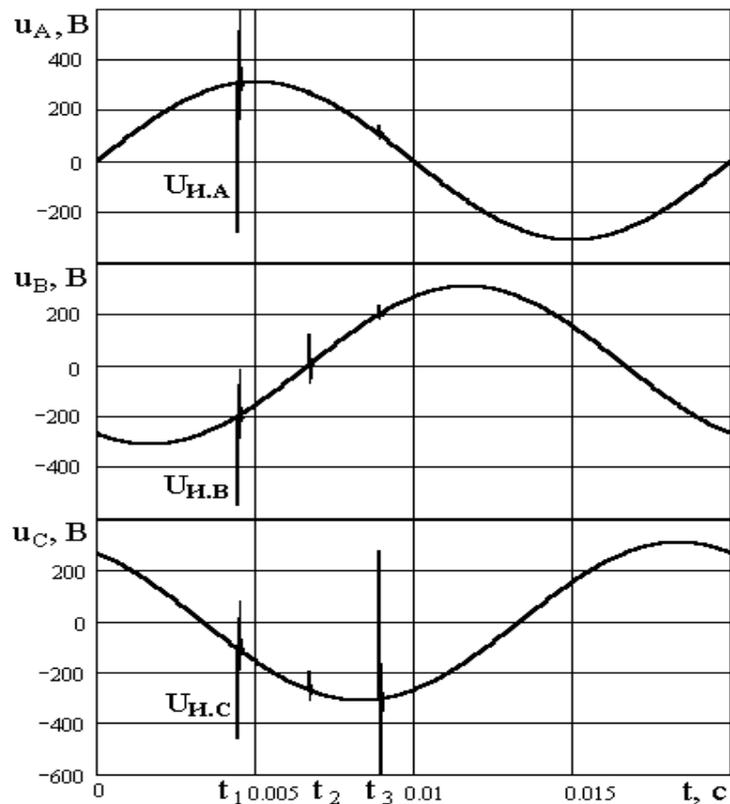


Рисунок 2.13 - Импульсные помехи в 3-фазной сети при включении 3-фазной нагрузки: t_1, t_2, t_3 – моменты замыкания контактов выключателя в фазах А, В и С

Скорость изменения тока в питающем проводе (кабеле) изменяются максимально при включении конденсаторов и оценивается по выражению

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_m = \frac{|e - U_{CH}|}{L_K} = \frac{2,36 \cdot 380\sqrt{2}}{5 \cdot 10^{-6}} < 3 \cdot 10^8 \text{ A/c}, \quad (2.15)$$

где L_K – индуктивность провода (кабеля) длиной 5–10 м. Значение скорости изменения электрического тока уменьшается пропорционально увеличению длины провода (кабеля). Согласно этого скорость изменения тока в кабеле не превышает 10^9 А/с.

2.3.5 Вероятностные характеристики импульсных помех

Значение импульсной помехи, которая наводится при конкретной коммутации, характеризуется случайной величиной и зависит от ряда факторов:

- мгновенного значения напряжения в сети в момент коммутации контактов каждой фазы выключателя (углов α, β),
- последовательности их коммутации,
- величины остаточного напряжения на коммутируемых емкостях.

Максимальное значение импульсных помех в сети наблюдается при коммутации емкостных цепей и замыканиях фазы на корпус. Возможность образования импульсных помех с амплитудой $\geq 3U_{\phi, M}$ при использовании цепи с большой емкостью не превышает нескольких процентов. Если принять условие к разряду конденсаторов перед их включением и емкость коммутируемых конденсаторов сделать меньше емкости сети $C_C = (10^{-6} - 10^{-7})\Phi$, то возможность увеличения амплитуды импульсных помех $3U_{\phi, M}$ снизиться до нуля.

Таблица 2.1 - Характеристики амплитуды импульсных помех на фазах при включении различных нагрузок

Вид коммутации	$U_{И, MAX}/U_{\Phi, M}$	$m/U_{\Phi, M}$	$\sigma/U_{\Phi, M}$	$P_2, \%$	$P_3, \%$
Включение активного сопротивления R_H между фазами	$0,86 \frac{R}{R + R_H}$	$0,5 \frac{R}{R + R_H}$	$0,3 \frac{R}{R + R_H}$	0	0
Включение разряженной емкости между фазами	0,86	0,5	0,3	0	0
Включение 3-х фазной активной нагрузки $R_{H\phi}$	$\frac{R}{R + R_{H\phi}}$	$0,6 \frac{R}{R + R_{H\phi}}$	$0,2 \frac{R}{R + R_{H\phi}}$	0	0
Использование заряженной 3-х фазной батареи емкостей	2,36	0,8	0,5	<1	0
Включение <u>заряженной</u> 3-х фазной батареи емкостей с заземленной нулевой точкой	4,2	1,2	0,8	20	5
$C_H \neq C_C$	2	0,9	0,5	0	0
$C_H = C_C$					
1 фазные замыкания на корпус	3,3	1,8	0,5	<30	<1

Частота появления импульсных помех в ЭЭС определяется суммой частот коммутации отдельных потребителей.

2.4 Выключение индуктивных цепей

К индуктивным нагрузкам относятся: различные реле, обмотки электрических машин, реакторы, цепи с дросселями, катушками

индуктивности. При их включении возникают импульсные перенапряжения на отключаемой цепи u_K и пачки импульсных помех в питающей сети u (рис. 2.14).

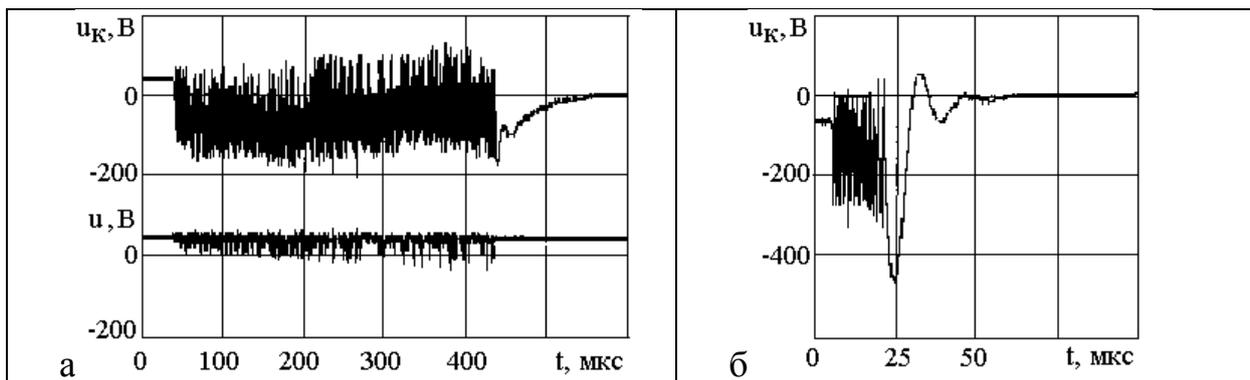


Рисунок 2.14 – Характеристика импульсных помех при коммутации обычным выключателем: а – обмотки электромагнитного тормоза; б – асинхронного электродвигателя

Напряжение на нагрузке, подлежащей отключению, u_K зависит от ее характера, на активной нагрузке оно резким скачком снижается до нуля; на выключенных емкостях - присутствует напряжение, близкое напряжению в сети в момент отключения; при отключении индуктивных нагрузок создается переходный процесс с начальными условиями $i_K(0)=I_K$; $u_K(0)=e$, который характеризует колебания в контуре, образованном индуктивностью L_K и паразитной емкостью катушки C_K (рис. 2.15). Период колебаний записывается в виде формулы $T = 2\pi\sqrt{L_K C_K}$.

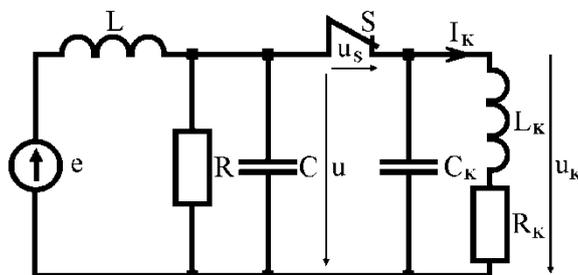


Рисунок 2.15 - Схема для определения импульсных помех при коммутации катушки индуктивности

Значение напряжения на катушке индуктивности u_K превышает напряжение электропитания e . Рост напряжения характеризуется появлением заряда емкости C_K за счет энергии $W_L = L_K I_K^2 / 2$ в катушке индуктивности. Оценить напряжение можно, если принять, что вся запасенная и сохраненная энергия W_L перейдет на емкость C_K .

Если выключатель S мгновенно меняет сопротивление от \min до \max (от нуля до бесконечности) и без пробоев выдерживает любое напряжение, то \max напряжение на индуктивности выражается по формуле

$$U_{K.M} = \sqrt{I_K^2 \frac{L_K}{C_K} + e^2} \approx I_K \sqrt{\frac{L_K}{C_K}}. \quad (2.16)$$

Сопровращения индуктивных нагрузок $\sqrt{\frac{L_K}{C_K}}$ обычно характеризуются значениями равными порядка 10^4-10^5 Ом. Напряжения на контактах выключателя характеризуется формулой $u_S = u - u_K$. Между контактами выключателя возникнет дуговой разряд при их размыкании. При напряжении > 300 В возможно возникновение тлеющего разряда и уменьшение тока до определенного значения, разряд исчезает и в цепи «катушка-емкость» создаются затухающие колебания с периодом T .

Нагрузка сохраняется в сети через дугу до того времени, пока дуга не погаснет при снижении напряжения в сети или тока дуги.

При отключении питания обмоток электрооборудования небольшой мощности, ток недостаточен для того чтобы поддержать горение дуги, и она гаснет сразу после зажигания. При перерыве в подачи питания расстояние между контактами мало и даже при небольшом напряжении питания достигается напряженность электрического поля, которой хватает для пробоя воздушного промежутка. Дуга загорается, напряжение u_K стремится к e , а емкость C_K разряжается на сеть, вызывая в ней появление вторичного импульса напряжения. Когда емкость C_K разрядится, ток становится меньше и дуга между контактами вновь гаснет. На катушке индуктивности напряжение u_K меняется по кривой с меньшей крутизной, потому что определенная часть энергии катушки потерялась на дуге. При этом напряжение пробоя возрастает, а контакты выключателя продолжают расходиться. Повторные зажигания и обрыв дуги продолжается, пока напряжение на контактах не будет снижено до напряжения пробоя.

При частых и многократных зажиганиях дуги, возникновения и горения тлеющего разряда уменьшается энергия, запасенная в индуктивности, и одновременно с этим падает перенапряжение. Чем \geq частота повторяющихся зажиганий дуги, тем \leq амплитуда перенапряжения. Max значение напряжения на нагрузке превышает в 4-5 раз $U_{ном}$ и зависит от типа выключателя, характеристики отключаемой цепи и т.п.

При отключении недолуженных трансформаторов перенапряжения частично преобразуется во всех обмотках пропорционально к-ту трансформации. Перенапряжения возрастают, если использовать выключатели с $U_{ном}$, более высокими, чем номинальное напряжение сети. На кратность перенапряжения небольшое влияние оказывают типы отключаемых трансформаторов или реакторов (величины L_K и C_K). Возникновение электрической дуги и тлеющего разряда, ограничивает перенапряжение на отключаемой нагрузке, но приводит к выходу из строя контактов выключателя и возможности появления нескольких видов импульсных помех в питающей электрической сети.

2.5 Однофазное замыкание на корпус

В системе электрической сети с изолированной нейтралью электрический ток 1-фазного замыкания на корпус, в отличие от 1-фазного тока к. з., зависит

от реактивного сопротивления емкости C_ϕ и не представляет особой опасности. Система контроля изоляции на электроустановке выделит факт замыкания и подаст сигнал о нежелательном снижении сопротивления изоляции.

Наиболее опасным является 1-фазное замыкание на корпус ЭУ через перемежающуюся дугу, т.к. при повреждении изоляции провода (кабеля) возможно приближение рабочей жилы к электрооборудованию на расстояние при котором возможен пробой промежутка между корпусом ЭУ и рабочей жилой.

В ситуации, когда прочность промежутка между рабочей жилой провода (кабеля) и корпусом приближается к амплитудной величине напряжения на нем, появляется возможность возникновения замыкания через электрическую дугу, которая периодически появляется и гаснет, ток замыкания характеризует собой периодичность импульсов с паузами между импульсами в пределах $1/4$ периода рабочей частоты. Помеха возникает с амплитудой e_A (момент $t=0$), если зажигается дуга, в результате чего возникает напряжение u_A , уменьшающееся до нуля за доли микросекунды. Электрический ток изменяется по синусоидальному закону с большой частотой и в момент t_1 переходит через ноль. В это момент дуга гаснет, происходит выравнивание зарядов фазных емкостей и в нейтрали сети возникает напряжение

$$u_N = \frac{u_A(t_1) + u_B(t_1) + u_C(t_1)}{3}. \quad (2.16)$$

Через $1/2$ периода рабочей частоты (t_2) напряжение на электрической дуге составляет - $2,63 U_{\phi.M}$. При этом фазное напряжение u_A за доли секунды меняется от $u_A = e_A + u_{N.VCT}$ до 0. Увеличение напряжения в этот момент рассматривается как помеха с амплитудой, равной $|e_A + u_{N.VCT}|$ и достигает значения равное $2,63 U_{\phi.M}$. Напряжение нейтрали изменится до $U_{\phi.M}$. При переходе высокочастотного тока через ноль (момент t_3) электрическая дуга гаснет, а величины напряжений u_B и u_C увеличиваются до максимальных значений примерно до $4U_{\phi.M}$. На нейтрали установится напряжение только после того как погаснет электрическая дуга

$$u_N = \frac{0+4+4}{3} U_{\phi.M} = 2,66 U_{\phi.M}. \quad (2.17)$$

Каждый следующий цикл «зажигание – погасание» электрической дуги вызывает рост напряжения смещения нейтрали $u_{N.VCT}$ и амплитуды импульсных помех, создаваемых при этом. Достигнув определенного значения напряжения электрическая дуга во время переходного процесса повторно зажигается, что приводит к ограничению величины напряжения нейтрали. Для производственных условий необходимо поддерживать этот параметр в соотношении $u_{N.VCT} < 2U_{\phi.M}$, при этом амплитуда импульсных помех не должна превышать значения $3U_{\phi.M}$ на поврежденной фазе.

2.6 Работа разных видов электроустановок

Газоразрядные лампы (л.л.) при включении, выключении и нормальном горении создают различные помехи. Так, если л.л. включается в электрическую

сеть (рис. 2.16) в стартере возникает тлеющий разряд, который замыкает биметаллический контакт S_C . Возникает ток, который проходит по главным электродам люминесцентной лампы. При его прохождении по электродам лампы, в стартере гаснет тлеющий разряд и замкнутые контакты S_C размыкаются. Одновременно с этим на дросселе L_D создается напряжение зажигания в несколько киловольт между основными электродами. Напряжение зажигания характеризуется как импульсная помеха. Для снижения данного напряжения в практике устанавливаются помехоподавляющие элементы (C_S , C_P , R_P), это делается для того чтобы импульсное напряжение не могло проникнуть в питающую электрическую сеть.

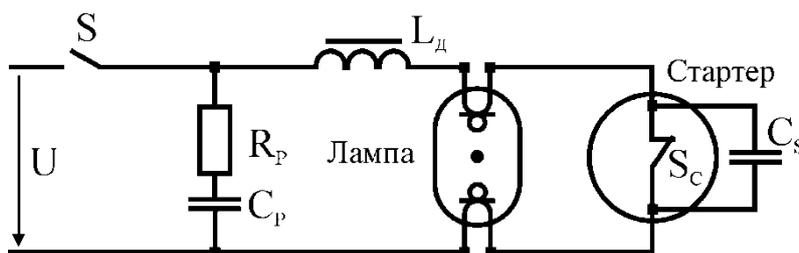


Рисунок 2.16 - Схема включения газоразрядной люминесцентной лампы

Учитывая принцип работы ламп такого типа можно отметить, что в каждом полупериоде разряд в стартере гаснет, но затем зажигается вновь. При этом U зажигания и свечение лампы при разогретых электродах меньше U питания. Учитывая низкую температуру электродов зажигание газоразрядных ламп и индуцированные группы помех в них может быть многократным. Если газоразрядная лампа работает в нормальном режиме, то стартер тлеющего разряда срабатывает только один раз, при условии, что $U_{\text{зак}} > U_{\text{гор}}$, где $U_{\text{зак}}$ - напряжение зажигания, $U_{\text{гор}}$ - напряжения горения г.р.л. с разогретыми электродами.

Электромагнитные помехи возникают в газоразрядных лампах при включении, при зажигании электрического разряда в электрической сети в каждом полупериоде при наличии напряжения. При их выключении они подобно отключению индуктивной нагрузки L_D также создают импульсные помехи. Газоразрядные лампы с электронным инвертором характеризуются частотой преобразования от 30 до 50 кГц, и как любой полупроводниковый преобразователь он также создает помехи.

Двигатели постоянного тока, универсальные коллекторные двигатели предполагают переключение рабочих обмоток с помощью специального щеточного механизма при вращении подвижной части машины - ротора, согласно электротехнических законов этот процесс сопровождается быстрыми изменениями тока в его обмотках и проводниках. Ток возникает через электрическую дугу в случае отключения катушек индуктивности. При обрыве дуги значение тока быстро изменяется, появляются импульсы напряжения в

индуктивных цепях амплитудой $Ldi(t)/dt$, создаются наведенные напряжения в соседних проводящих контурах величиной $Mdi(t)/dt$, где L - индуктивность обмотки катушки, по которой протекает ток, а M - взаимная индуктивность с соседним контуром. С целью ограничения электромагнитных помех в состав электрических двигателей включают последовательно катушки индуктивности, а параллельно со щетками - конденсаторы.

2.7 Статическое электричество. Электростатический разряд.

Электростатический разряд (статическое электричество) – свойство переноса заряда прямым соприкосновением или пробоем при потенциале действия между объектом и окружающей его средой при непосредственном соприкосновении или при пробое (рис. 2.17, а).

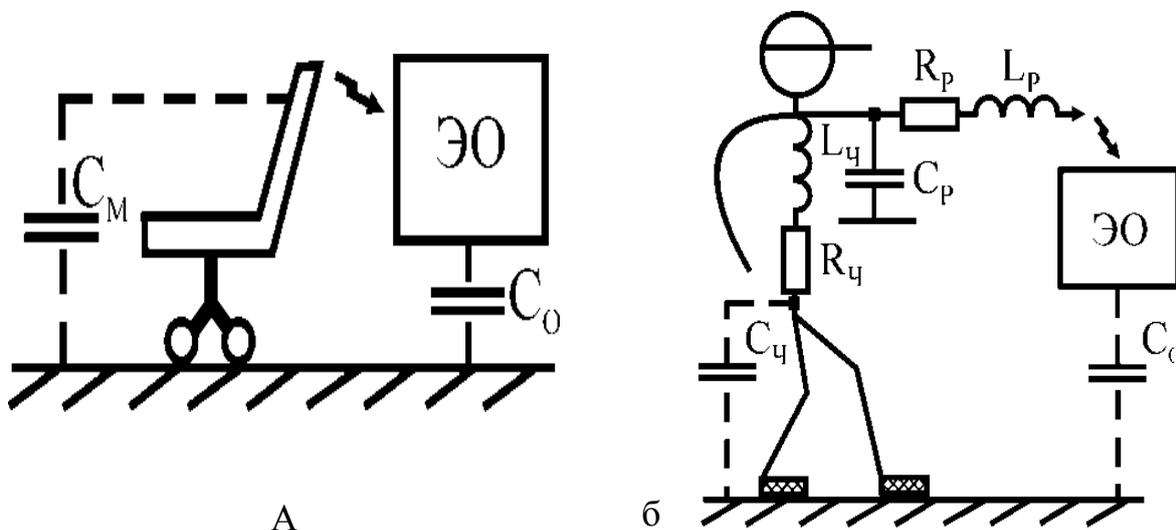


Рисунок 2.17 - Пример электростатического разряда: а – разряд между металлическими предметами; б – схема замещения человека

Электростатический разряд относится к очень опасному виду электромагнитных помех (ЭМП). На поверхности тела человека возможно накопление статического электричества величиной до 25000 В. При контакте электростатически заряженного объекта с ТС происходит сбой в работе этого устройства, изменяются его функции, в результате чего данное оборудование выходит из строя, либо включаются средства управления и защиты. К причинам появления электростатических разрядов относятся: вращающиеся и движущиеся механические части оборудования; неправильно выполненное защитное заземление; незранированные кабели; люди; условия окружающей среды (большая температура, низкая влажность); непрочные соединения и т.п.

Соприкасающиеся материалы, с учетом величины их зарядов характеризуются различной (положительной или отрицательной) полярностью.

При различных условиях окружающей среды потенциал человека может подниматься до величины (10–30) кВ. Наибольшие статические напряжения появляются при перемещении по резиновой или синтетической поверхности при малой влажности воздуха. Емкость предмета зависит от его размера и, следовательно, при том же заряде возможно получение большего напряжения. При повышенной влажности воздуха заряд стекает намного быстрее, одновременно с этим уменьшается величина напряжения до максимально возможной.

При прямом касании руки, имеющей заряд с напряжением $U_{\text{ч}} = 10$ кВ, к корпусу электрооборудования, создается пробой воздуха между рукой человека и корпусом на расстоянии в несколько миллиметров. Статическое электричество в данной ситуации описывается кратковременными импульсами тока с амплитудой в несколько десятков ампер и длительностью импульса до 100 нс. При этом необходимо знать, что степень U и параметры электрической цепи обеспечивают большое влияние на величину тока при статическом электричестве.

Небольшие поля разряда возникают при наличии металлического предмета в руке и близости ее к точке разряда. При наличии защитного заземления после разряда на заземленный корпус человек получает потенциал земли, в случае отсутствия такой защиты возникает разряд с емкости человека $C_{\text{ч}}$ на емкость электрооборудования $C_{\text{о}}$. С течением времени заряд стекает из-за малой проводимости воздуха и диэлектрических материалов, которые устанавливаются для разделения оборудования от земли.

Воздействие прямого разряда на электронные цепи способно вывести их из рабочего состояния. Электростатический разряд также характеризуется импульсным электрическим и магнитным полями, создающими в электрических цепях оборудования наведенные напряжения, способные привести их к аварийному состоянию.

2.8 Источники узкополосных помех

Основным источником узкополосных помех является излучение передатчиков связи. Передатчики работают в диапазонах от инфра низкой частоты в несколько десятков герц до нескольких сотен гигагерц. Классификация частотных диапазонов приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Классификация радиочастотных диапазонов

Номер диапазона	Диапазон частот	Условное обозначение	Метрическое название	Наименование в литературе
4	3–30 кГц	ОНЧ (VLF)	<u>Мириаметровые</u>	Сверхдлинные (СДВ)
5	30–300 кГц	НЧ (LF)	Километровые	Длинные (ДВ)
6	0,3–3 МГц	СЧ (MF)	Гектометровые	Средние (СВ)
7	3–30 МГц	ВЧ (HF)	<u>Декаметровые</u>	Короткие (КВ)
8	30–300 МГц	ОВЧ (VHF)	Метровые	Ультракороткие (УКВ)
9	0,3–3 ГГц	УВЧ (UHF)	Дециметровые	Ультракороткие (УКВ)
10	3–30 ГГц	СВЧ (SHF)	Сантиметровые	Ультракороткие (УКВ)
11	30–300 ГГц	КВЧ (EHF)	Миллиметровые	Ультракороткие (УКВ)

Диапазон мириаметровых волн используется для связи под водой. Диапазоны километровых и гектометровых волн применяются в звуковом радиовещании и международной спасательной службе. На декаметровых волнах работают системы дальнего звукового радиовещания, дальней радиотелефонной и телеграфной связи. Современные системы связи, радиолокации работают в более высоких частотах. [2.7].

2.9 Внешние мощные электромагнитные воздействия

Во всем мире в настоящее время используется термин - мощный электромагнетизм, который характеризует электромагнитные явления большой интенсивности: импульсные поля от мощных радиолокационных станций; электромагнитный импульс от ядерного взрыва, от разряда молнии, от разряда статического электричества и т.п.

Участились случаи «электромагнитного терроризма», который предполагает применение мощных источников электромагнитной энергии для вывода из строя оборудования и повреждения электронных систем с криминальной или террористической целью. Возникший новый термин – «преднамеренные (умышленные) электромагнитные помехи» включает содержание обоих упомянутых выше терминов [9].

Виды этих ЭМП в частотном диапазоне представлены на рис. 2.18.

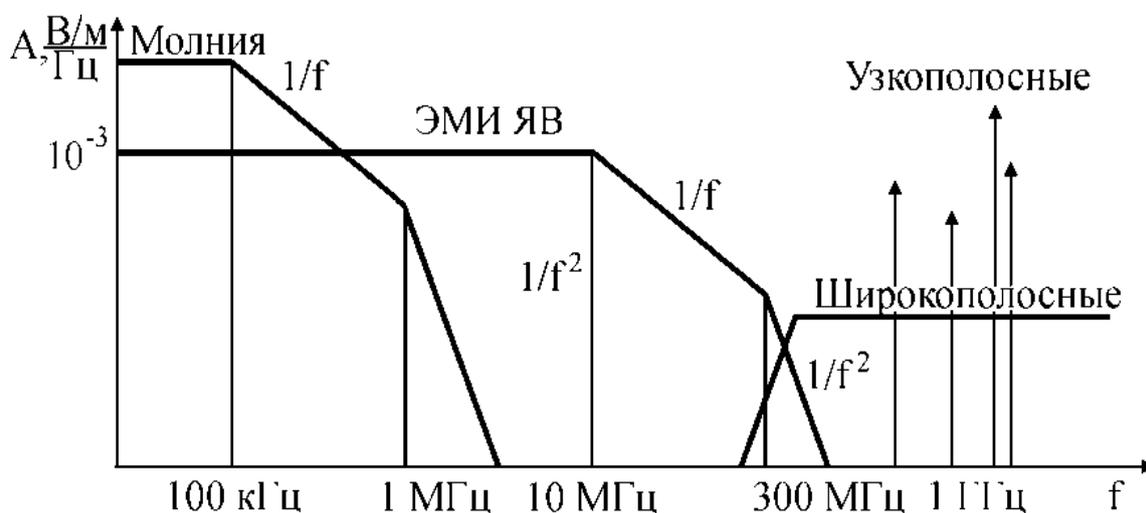


Рисунок 2.18 - Спектральная плотность ЭМП мощных источников

Отношение максимальной частоты f_B к минимальной частоте f_H определяет спектр и его ширину для определенного вида ЭМП. При отношении $f_B/f_H > 10$ частотная полоса помехи называется гиперполосой [2]. К данной ситуации относятся импульсные поля при ядерном взрыве, при атмосферном разряде молнии, спектры которых характеризуется большой низкочастотной составляющей.

Мощные источники ЭМП индуцируют электромагнитное поле в виде одиночного импульса аperiodической или колебательной формы или пачку импульсов, следующих с определенной частотой.

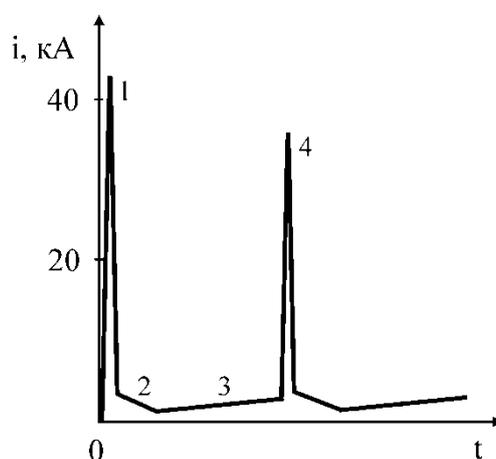


Рисунок 2.19 - Ток разряда молнии: 1 – главный разряд; 2 – промежуточная составляющая; 3 – постоянная составляющая; 4 – повторный разряд

Наибольшую опасность представляет прямой разряд молнии на объект. Разряд молнии формирует электромагнитный импульс, который приводит к наведению напряжений во внешних цепях. Снижение U на индуктивности при резком изменении тока молнии в разы больше падения напряжения на самом активном сопротивлении. ЭДС, наводимая в контуре, и напряжение по линии металлической конструкции, образованное проводником или кабелем, оказываются достаточными для прямого пробоя с конструкции на цепь.

Величина, при которой произойдет пробой, оценивается по формуле (рис. 2.20, б):

$$X = \frac{\mu_0 l}{2\pi E_{\text{пр}}} \cdot \frac{di}{dt} \cdot \ln\left(\frac{24 + D}{D}\right), \quad (2.20)$$

где $E_{\text{пр}} \approx 15$ кВ/м – напряженность резко неоднородного электрического поля для микросекундных импульсов;

D - диаметр металлической конструкции с током молнии, м;

l - длина прокладки проводника или кабеля вдоль металлической конструкции, м.

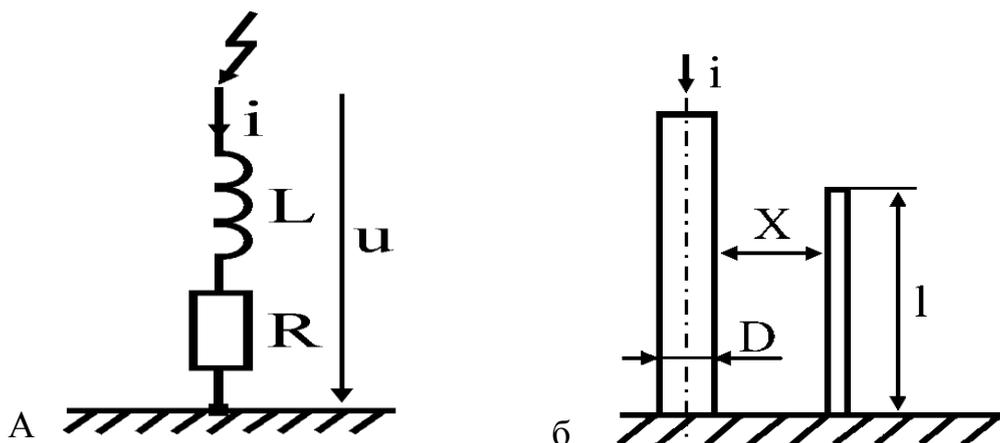


Рисунок 2.20 - Характеристика напряжения, при грозовом разряде: а - схема замещения для расчета U ; б - схема для определения расстояния до проводника

На изменение электрического и появление магнитного поля оказывает влияние грозовой разряд. Электромагнитный импульс создается под действием этих полей, и способен перемещаться от грозового облака со скоростью света на значительные расстояния от точки удара молнии. При выработке электромагнитного импульса в состав входят разветвленные каналы основных разрядов так как поверхность Земли и слой ионосферы формируют электромагнитный импульс, от которых электромагнитные волны отражаются. Напряженность электромагнитного импульса зависит от расстояния канала молнии и объекта.

Наибольшая величина напряженности магнитного поля H_M характеризуется током I_M и расстоянием x . Числовое значение H_M для расстояний, которые намного меньше длины канала молнии, выполняется по закону полного тока:

$$H_M = \frac{I_M}{2\pi x}. \quad (2.21)$$

При расстоянии в сто метров и силе тока в 200 кА напряженность магнитного поля составляет 320 А/м.

Ядерный взрыв вызывает появления электромагнитного импульса (ЭМИ), который оказывает воздействие на огромную территорию. При этом генерируется поток гамма-квантов, увеличивающийся в несколько раз за

несколько наносекунд. Кванты разлетаются со скоростью света от места взрыва и при сцепке с молекулами воздуха вырывают комптоновские электроны, которые перемещаются по направлению движения гамма-квантов. Эти электроны имеют огромную энергию и могут создать десятки тысяч вторичных пар электрон–ион. Несимметрия перемещения электронов вызывает появление импульса тока характерного направления. В результате чего создается электромагнитная волна, которая начинает перемещаться вместе с потоком гамма-квантов.

Вектор напряженности электрического поля имеет как горизонтальную, так и вертикальную составляющие, вектор напряженности магнитного поля направлен по горизонтали.

3 УРОВНИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ .

ХАРАКТЕРИСТИКА

3.1 Интервалы и уровни электромагнитных помех (ЭМП)

Для поддержания электромагнитной совместимости (ЭМС) при проведении мероприятий должны учитываться следующие показатели:

- электромагнитная обстановка (ЭМО) с особенностями частотного и амплитудного спектра токов (I) и напряжений (U) источников помех, напряженностью электромагнитного поля (ЭМ поля);

- механизм связи с учетом коэффициентов затухания и передаточных функций;

- количественную оценку ЭМО;

- восприимчивость приемника помех (ПП);

- чувствительность ПП в зависимости от времени или частоты [1,5,6].

На практике для расчета количественной оценки электромагнитной совместимости пользуются логарифмическими масштабами U , I , напряженностей E -электрического или H -магнитного поля, P - мощностей в о.е., которые показывают соотношения величин, отличающиеся на много порядков.

Уровни ЭМС характеризуют отношение величины (например, напряжения U_x) к его значению по базе (напряжения U_0), выраженному в единицах: $U_0 = 1$ мкВ и т.д.

Степень передачи показывает характеристику передаточных свойств, выраженную отношением выходных и входных параметров системы, представленную в виде логарифмов обратных величин коэффициентов передачи, например, коэффициентов затухания мощности, коэффициент ослабления при использовании экранирования, и т.п.

При использовании десятичного логарифма $\log_{10}=lg$ параметры, приведенные ниже, определяются в децибелах, это:

- базовое значение напряжения $U_0=1$ мкВ,
- базовое значение тока $I_0= 1$ мкА,
- базовое значение напряженности электрического поля $E_0=1$ мкВ/м,
- базовое значение напряженности магнитного поля $H_0=1$ мкА/м,
- базовое значение мощности $P_0=1$ кВт:

а) *напряжение*:

$$U_{дБ} = 20 \lg(Ux/U_0), \text{ где } U_0 = 1 \text{ мкВ}; \quad (3.1)$$

б) *ток*:

$$I_{дБ} = 20 \lg(Ix/I_0), \text{ где } I_0 = 1 \text{ мкА}; \quad (3.2)$$

в) *напряженность электрического поля*:

$$E_{дБ} = 20 \lg(Ex/E_0), \text{ где } E_0 = 1 \text{ мкВ/м}; \quad (3.3)$$

г) *напряженность магнитного поля*:

$$H_{дБ} = 20 \lg(Hx/H_0), \text{ где } H_0 = 1 \text{ мкА/м}; \quad (3.4)$$

д) *мощность*:

$$P_{дБ} = 20 \lg(Px/P_0), \text{ где } P_0 = 1 \text{ кВт}. \quad (3.5)$$

Все рассмотренные ранее параметры можно назвать абсолютными уровнями, т.к. они решались с использованием постоянной базовой величины. Для обоснования, что величина является базовой, в ее условные обозначение помимо Дб вводятся соответствующие индексы, например, дБ_{мкВ}, дБ_{мкА} и т.д. При использовании натурального логарифма \ln отношение величин также можно представить в неперах (Нп):

$$1 \text{ Нп} = e = (Ux/U_0) \quad (3.6)$$

Соотношения между децибелом и непером:

$$\frac{1}{2} \ln(Ux/U_0), \text{ Нп} = 20 \lg(Ux/U_0), \text{ Дб}, \quad (3.7)$$

Или $1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}$; $1 \text{ дБ} = 0,115 \text{ Нп}$

Отношение рассматриваемых величин в неперах ($1 \text{ Нп}=8,686 \text{ дБ}$) легко выразить если использовать базовые значения и натуральный логарифм. Для расчета уровней помех в электромагнитной совместимости так же можно использовать абсолютный и относительный уровни.

Абсолютный уровень определяется уровнем полезного сигнала и помехи, порогового значения помехи, которые должны быть соотнесены к расчетной базовой величине (например, мкВ), см. рис. 3.1.

Уровень помех - это условная величина помехи (рисунок 3.1), область ее дозволённых уровней предусматривается стандартами DIN/VDE, ГОСТ, ОСТ.

Пороговое значение помехи - это *min* относительная величина полезного сигнала, его возрастание в месте приема понимается как помеха.

Уровень полезного сигнала - условная 100% величина полезного сигнала.

Относительный уровень выражается через интервал разностью уровней.

Интервал помехи - разность между ступенью полезного сигнала и предельного значения помехи (рисунок 3.1), определенное подобно логарифму отношения значения полезного сигнала и предельного значения ЭМП.

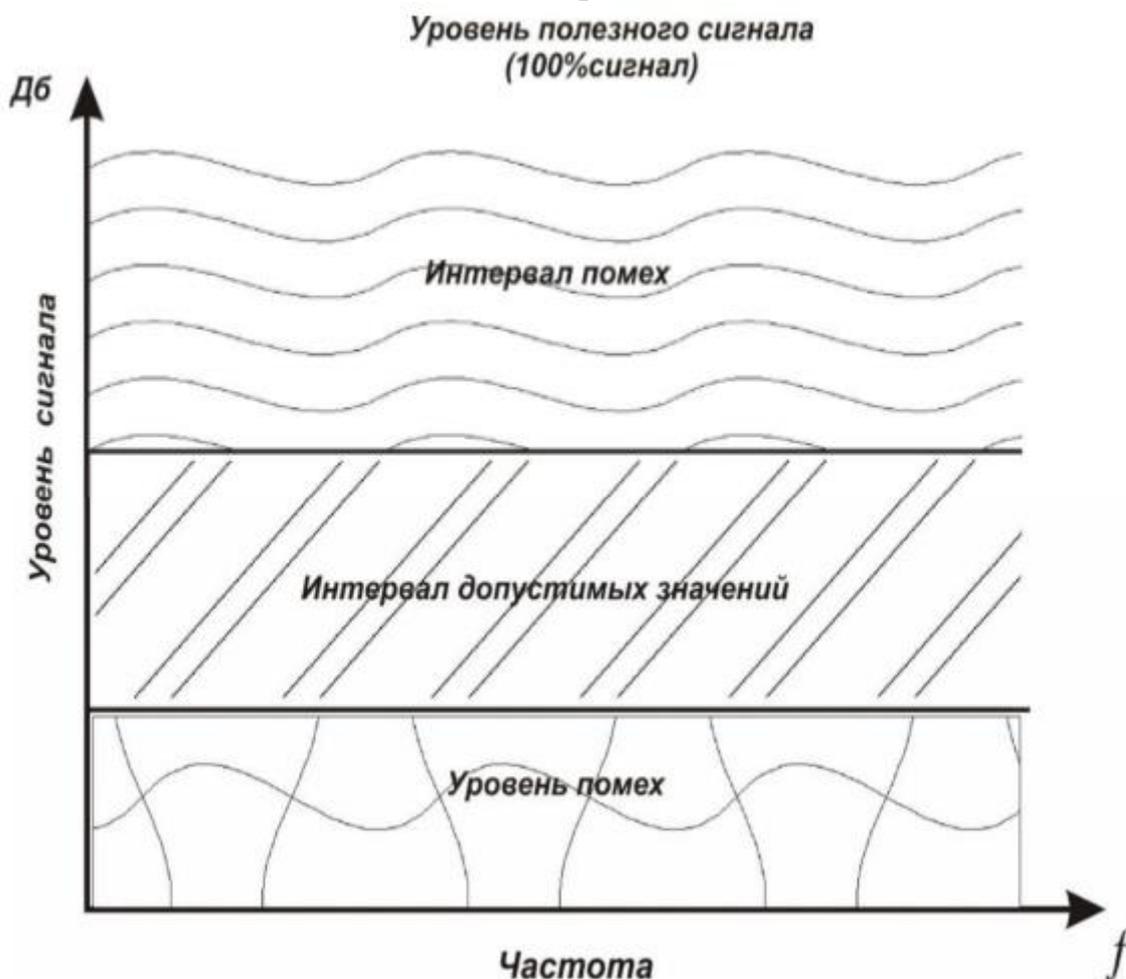


Рисунок 3.1 – Уровни и интервалы помех

Интервал допустимых помех определяется разностью между помехами с пороговыми значениями и помехами, рассчитываемыми через логарифм отношения двух величин: пороговой и действующей.

Аналоговый сигнал характеризуется интервалом ЭМП в диапазоне не менее 40 дБ, в телевидении и радио – от 30 до 60 дБ, в связи - до 10 дБ. Точные значения помех принимаются согласно действующих норм (DIN/VDE), принятых международной электротехнической комиссией (МЭК) или CISPR с учетом периодичности и частоты их воздействия.

3.2 Номограмма электромагнитной совместимости

Путь распространения при снижении импульсных помех определяется частотной или временной областью. Для продвижения из временной в частотную зону предлагается применить преобразования Фурье, т.к. передающие свойства устройств помехоподавления и трактов связи часто показывают именно в частотной области.

Для этой цели строят номограмму электромагнитной совместимости (ЭМС – номограмму).

Номограмма электромагнитной совместимости используется для:

- характеристики и учета зависимых средств помехозащит, передаточных свойств связи и т.д.;
- графического изображения при преобразовании «частотная-временная» области;
- графическое изображения «временная – частотная» области.

На рисунке 3.2 представлена трапецевидная форма помехи. В данном случае плотность распределения амплитуд при реализации преобразования Фурье будет характеризоваться следующей формулой:

$$U(f) = 2U_m \tau \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \frac{\sin \pi f \tau_k}{\pi f \tau_k}. \quad (3.8)$$

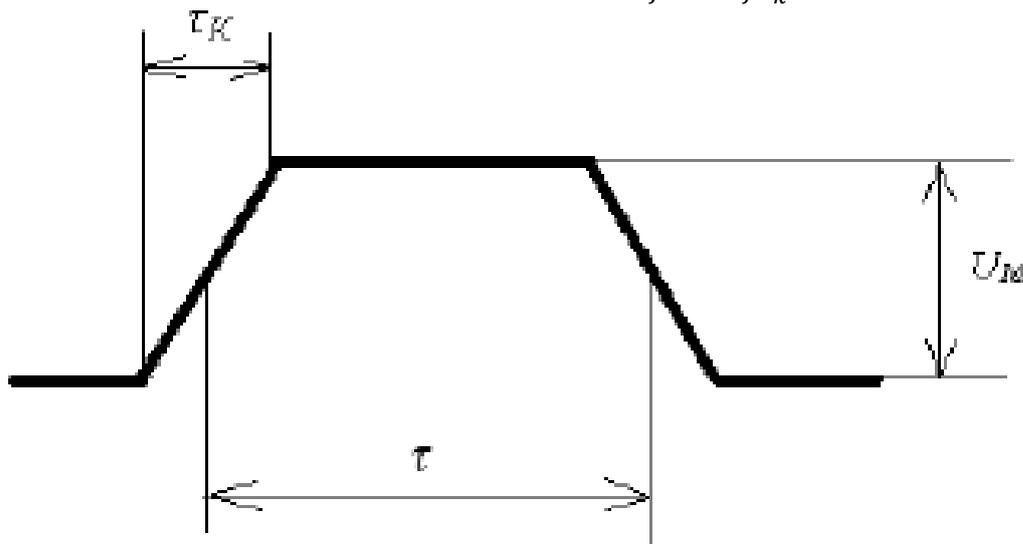
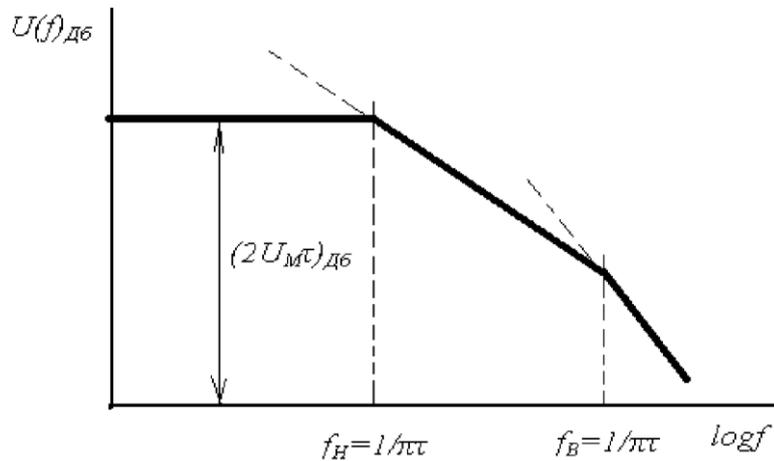


Рисунок 3.2 - Трапецевидный импульс помехи

При значении $\tau_k = 0$ трапецевидный импульс меняет форму изображения на прямоугольную, при $\tau = 0$ – на треугольную. Это можно объяснить тем, что импульс в виде трапеции включает максимальную часть импульсов, встречающихся в практике. Т.е. номограмму электромагнитной совместимости можно характеризовать приближением огибающей плотности размещения помехи 3-мя отрезками прямой (см. рис.3.3).



f_H – нижняя; f_B – верхняя сопрягающая частоты

Рисунок 3.3 – Огибающая «физической» плотности распределения амплитуд трапецевидного импульса (линейное приближение - аппроксимация):

Огибающая «физической» плотности параллельна оси абсцисс для низкочастотного диапазона $f \leq f_H$ ($f_H = 1/\pi\tau$), потому что синус и его аргумент приблизительно равны:

$$U(f) = 2U_m\tau = const. \quad (3.9)$$

На площадь импульса особо влияет плотность распределения амплитуд гармоник (в децибелах - дБ):

$$U(f)_{дБ} = 20 \lg \left(\frac{2U_m\tau}{A_0} \right), \quad (3.10)$$

где A_0 – амплитуда гармоники, $A_0 = 1$ мкВ·с

Для среднечастотного диапазона $1/\pi\tau < f < 1/\pi\tau k$ напряжение характеризуется выражением

$$U(f) = \frac{2U_m\tau}{\pi f\tau} = \frac{2U_m}{\pi f}, \quad (3.11)$$

Спад амплитуды гармоник с частотой составляет 20 дБ за декаду:

$$u(f)_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{2U_m}{nfA_0} . \quad (3.12)$$

В высокочастотном диапазоне $f > f_B$ ($f_B = 1/\pi\tau_k$):

$$U(f) = 2U_m\tau \frac{1}{\pi f\tau} \frac{1}{\pi f\tau_k}$$

или

$$u(f)_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{2U_m}{\pi^2 f^2 \tau_k A_0} \quad (3.13)$$

то есть 40 дБ за декаду.

При переходе из частотной во временную область рекомендуется определить плотность импульса:

$$U_m\tau = \frac{1}{2} 10^{\frac{u(f)_{\text{дБ}}}{20}}, \text{ мкВ} \cdot \text{с}. \quad (3.14)$$

Распределение амплитуды импульса по плотности выражается следующей формулой:

$$U = \frac{1\pi f_H}{2} 10^{\frac{U(f_H)_{\text{дБ}}}{20}}, \text{ мкВ}, \quad (3.15)$$

Крутизна фронта нарастания импульса характеризуется сложным выражением:

$$U_m/\tau_k = \frac{\pi^2 f_B^2}{2} 10^{\frac{U(f)_{\text{дБ}}^2}{2}}, \text{ мкВ/с}. \quad (3.16)$$

Следующее соотношение определяет длительность импульса:

$$\tau = 1/\pi f_H . \quad (3.17)$$

4 ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

4.1 Элементы гальванической (металлической) связи

При наличии двух электрических контуров (двухполосник, сопротивление связи или участок провода), которые имеют общее сопротивление Z всегда появляется гальваническая (металлическая, кондуктивная) связь. (см. рис. 4.1).

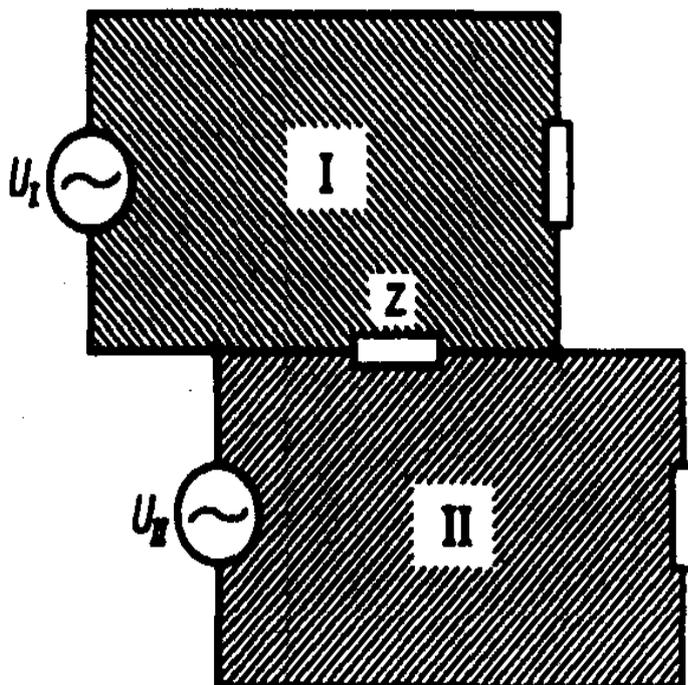


Рисунок 4.1 – Гальваническая (кондуктивная) связь

Источником помехи является ток в контуре I , за счет которого на общем сопротивлении Z возникает падение напряжения, которое (система подверженная влиянию помехи) накладывается на полезный сигнал в контуре II . Предложенная эквивалентная схема используется для разрешения проблем ЭМС, которая может возникнуть через проводимость наводки частотой 50 Гц, падением напряжения за счет токов, протекающих по оплетке кабелей и

корпусам. Соответственно, ток контура 2 может вызвать помеху в контуре 1 при соответствующих мощностях обоих контуров.

Ситуация, когда в сети возникает некоторое полное сопротивление и оно оказывается общим для нескольких или 2-х контуров, всегда сопровождается возникновением кондуктивной или гальванической связи. Различают связь между цепью общего питания и контурами заземления величиной полного сопротивления $Z = R + j\omega L$.

Если два или несколько контуров имеют общее сопротивление, например, в общем проводе, то падение напряжения на нем проявляется в другом контуре как напряжение противофазной помехи [1, 7].

Гальваническое влияние характеризует перенос сигнала или энергии в электрических цепях при отсутствии электрического соединения между ними.

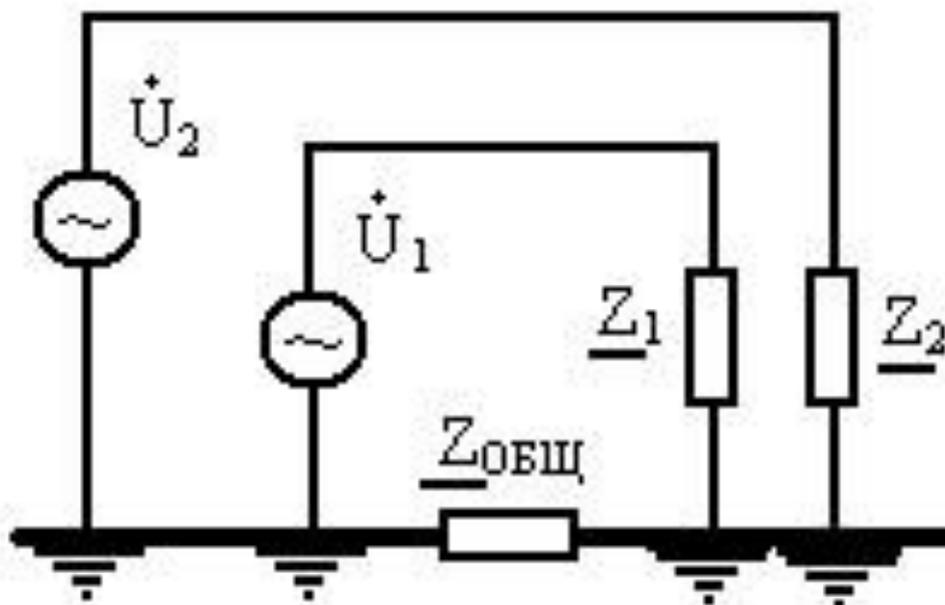


Рисунок 4.2 – Гальваническая связь через контур заземления

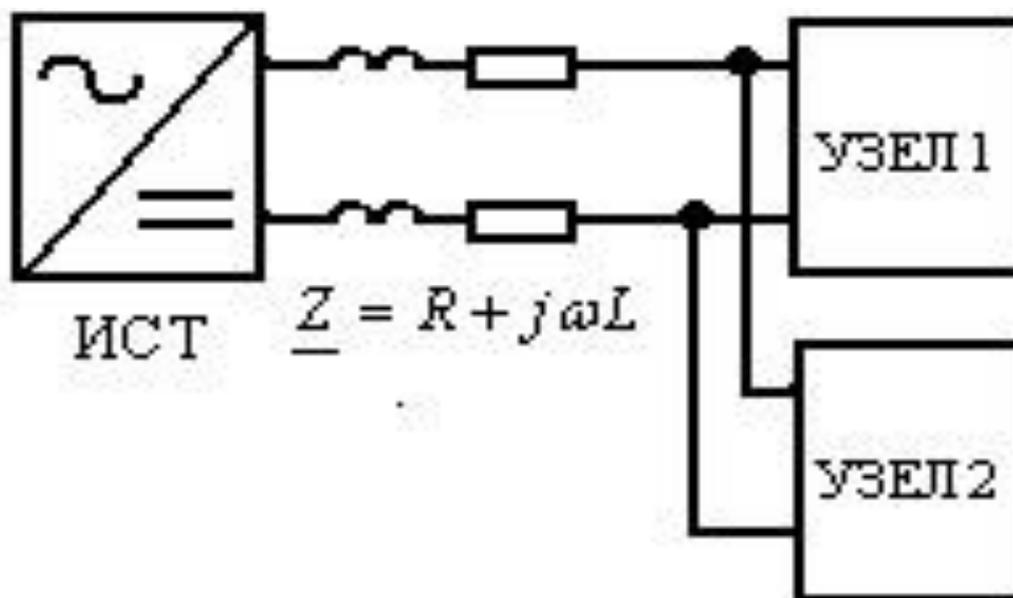


Рисунок 4.3 – Гальваническая связь через цепи питания

При возникновении гальванической развязки необходимо:

- для каждого устройства использовать отдельные соединительные провода;
- отдельно для каждого устройства монтировать стабилизаторы;
- снижать суммарное полное сопротивление проводов электропитания;
- устанавливать действующие узлы с большим питающим напряжением.

Примером рассматриваемого типа связи являются влияние на сеть выпрямителей, коммутационных устройств, перемена тока при подключении цифровых цепей и включение катушек контакторов и т.д.

Синфазные напряжения зачастую вызывают появление токов, которые протекают через кабельные экраны, заземленные нулевые провода, корпуса измерительных приборов и т.д. в результате чего появляется нежелательная связь через контур заземляющего устройства, относящегося к наиболее часто встречающимся причинам появления ЭМП. Для защиты от появляющихся помех рекомендуется устанавливать разделительные трансформаторы при включении которого (рис. 4.4) электрическая цепь гальванически размыкается по постоянному току.

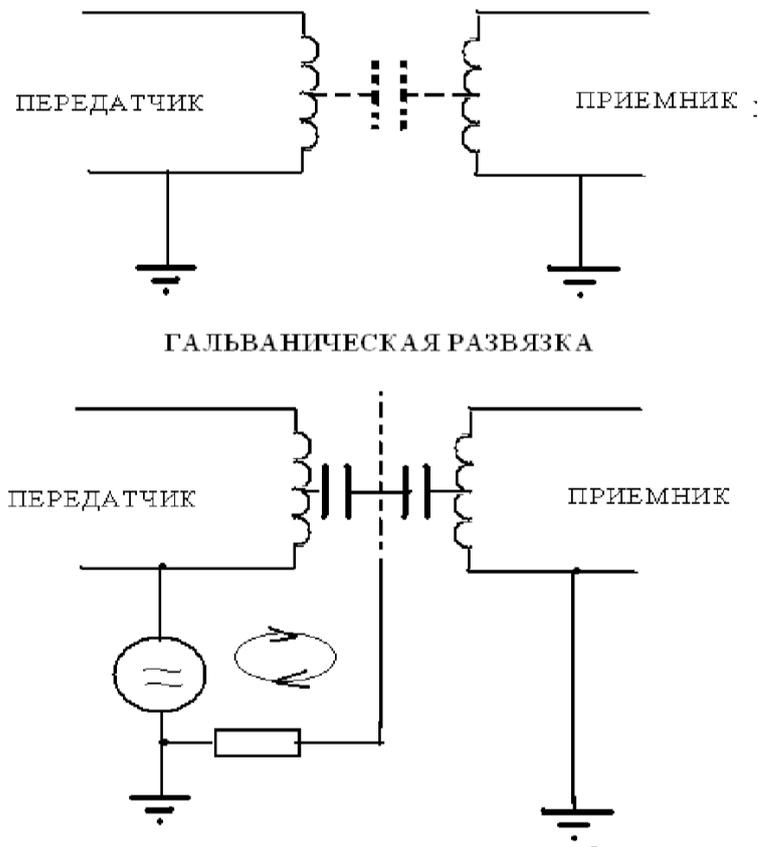


Рисунок 4.4 – Включение защитных разделительных трансформаторов

Гальваническая развязка выполняет передачу сигнала или энергии в электрических цепях без электрического контакта между ними и используются для бесконтактного управления, передачи сигналов и для защиты людей и оборудования от действия поражения электрическим током. Для снижения гальванических связей в контрольных цепях управления и цепях передачи информации нашли применение световодные линии и оптроны. Их основной недостаток состоит в том, что появляется возможность увеличения электрической емкости между обмотками трансформатора с увеличением частоты сигнала помехи. В случае, если развязка цепи по постоянному току невозможна, используются трансформаторы со схемой включения см. рис. 4.5.

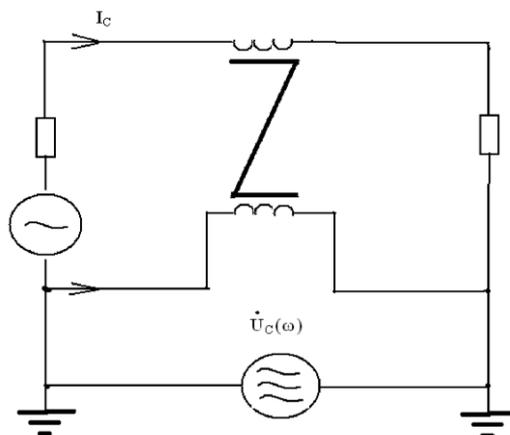


Рисунок 4.5 - Трансформатор для разрыва контура заземления

В настоящее время для описания норм ЭМО введены классы окружающей среды, учитывающие различные виды помех:

Класс 1. (*очень низкий уровень помех*): коммутационные перенапряжения в цепях управления подавлены соответствующими цепями, линии сильного тока и линии управления проложены отдельно, линии электропитания на обоих концах заземлены и снабжены сетевыми фильтрами.

Класс 2. (*низкий уровень помех*): коммутационные перенапряжения частично ограничены, линии сильного тока и управления отделены.

Класс 3. (*уровень промышленных помех*): релейные катушки не снабжены ограничительными цепями, необязательное разделение силовых линий и линий управления, сигнальные линии и линии питания разделены, используется общая система заземления. Пример – щиты управления электростанцией и промышленные предприятия.

Класс 4. (*высокий уровень помех*): нет ограничительных цепей, необязательное разделение линий управления, сигнальных линий, телефонных линий и силовых линий, использованы многожильные кабели. Пример - установки открытого типа на электростанциях, устройства технологического управления, распределительные устройства линий высокого напряжения.

Класс 5. (*экстремальный уровень помех*): особый случай, когда по своей природе не могут быть учтены обычно действующие нормы. Компромисс достигается на особых договорных условиях между производителем и потребителем приборов.

4.2 Синфазные и противофазные помехи

Противофазные помехи $U_{пф}$ появляются между обратными и прямыми проводниками различных электрических контуров, а также между входными зажимами, подвергающихся помехам систем. При этом токи $I_{пф}$ принимают то же направление в прямых и обратных проводниках, что и токи полезных сигналов. В симметричных контурах (в отсутствие заземления) это появление симметричных напряжений, в несимметричных контурах – появление несимметричного напряжения. Напряжения, как правило, чаще всего возникают благодаря магнитной связи, они суммируются с полезным сигналом и могут вызывать различные сбои и повреждения цепей. Так, напряжение противофазной помехи $U_{пф}$ вызывает в электрических контурах ток $I_{пф}$, который создает на полных сопротивлениях передатчика и приемника падения напряжения:

$$U_{пф} = I_{пф} \cdot Z_{ПЕР} + I_{пф} \cdot Z_{ПРИЕМН.} \quad (4.1)$$

Напряжение помехи на приемнике определится, соответственно, как:

$$U_1 = (U_{ПФ} \cdot Z_{ПР}) / (Z_{ПЕР} + Z_{ПР}) \quad (4.2)$$

Синфазные помехи $U_{сф}$ обуславливаются источниками мешающих напряжений, которые появляются между отдельными сигнальными проводами и массой с нулевым потенциалом в форме кратковременного повышения потенциала относительно земли.

В симметричных электрических контурах синфазное напряжение возникает между электрической серединой цепи и массой и называется ассиметричным напряжением. Прямой и обратный провода имеют одинаковое напряжение относительно земли [1,5,6,7].

В несимметричных цепях синфазные напряжения возникают между отдельными проводами и массой, их называют несимметричным напряжением. Синфазное напряжение вызывает в параллельных прямом и обратном проводе токи одного направления и характера, которые через паразитные емкости и землю могут вернуться к источнику питания (рис. 4.6). При различных сопротивлениях прямого и обратного проводов и различных паразитных емкостях токи в них будут различаться. Прямой и обратный провода при этом приобретут различные потенциалы относительно земли и произойдет преобразование синфазной помехи в противофазную.

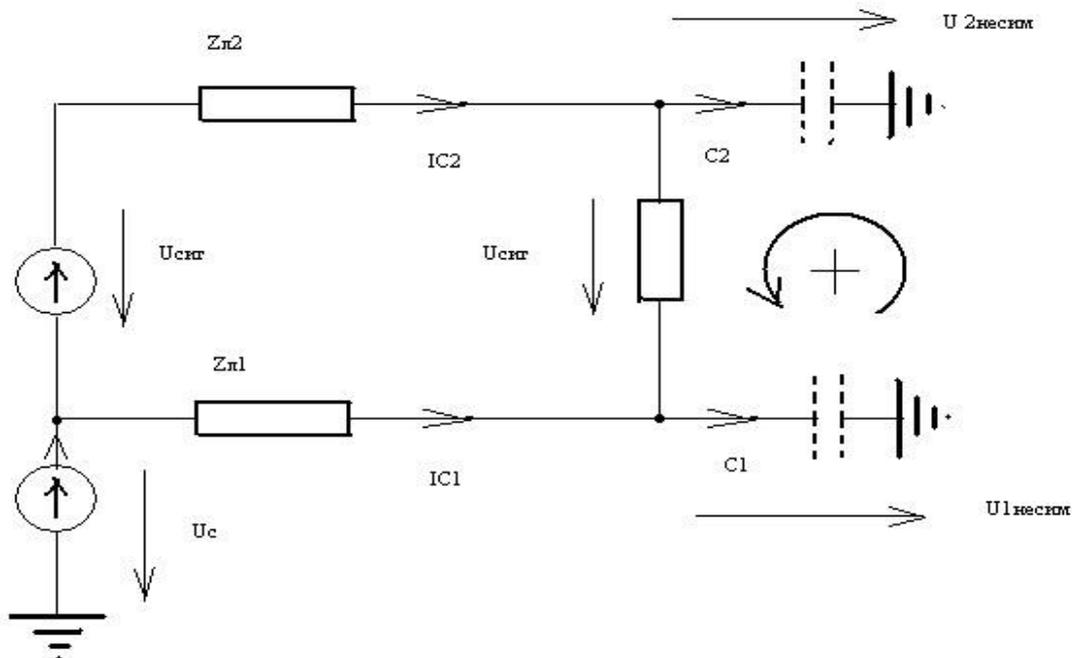


Рисунок 4.6 –Преобразования синфазной помехи в противофазную

Применение второго закона Кирхгофа к схеме рисунка 4.5 дает:

$$\dot{U}_{\text{сим}} + \dot{U}_{\text{несим}}^{(1)} - \dot{U}_{\text{несим}}^{(2)} = 0$$

или

$$\dot{U}_{\text{сим}} = \dot{U}_{\text{несим}}^{(2)} - \dot{U}_{\text{несим}}^{(1)} \quad (4.3)$$

Мерой степени преобразования синфазной помехи в противофазную является коэффициент преобразования синфазной помехи в противофазную:

$$K = \frac{|\dot{U}_{\text{пф}}(\omega)|}{|\dot{U}_{\text{пф}}(\omega)|^2} \quad (4.4)$$

в логарифмических единицах:

$$K_{\text{сф.пф.}} = 20 \lg \left[\frac{|\dot{U}_{\text{пф}}(\omega)|}{|\dot{U}_{\text{пф}}(\omega)|^2} \right] \quad (4.5)$$

5 ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ

5.1 Индуктивная (магнитная) связь

Индуктивная связь возникает за счет взаимного прохождения магнитных потоков среди двух или более контуров с токами, где и возникает электродвижущая сила (ЭДС). Как итог - в результате этого появляется напряжение противофазной помехи, которое частично, проникает ко входу приемника.

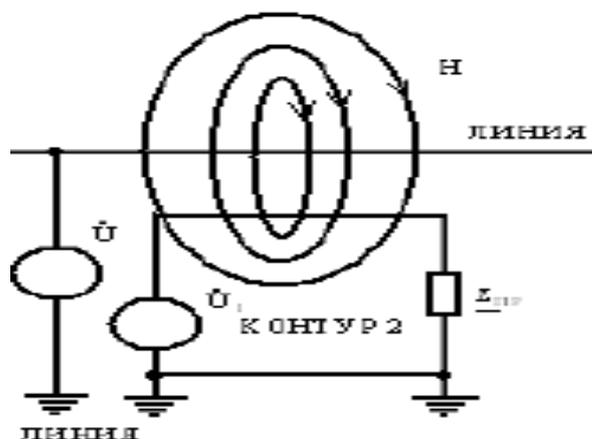


Рисунок 5.1 – Механизм образования индуктивной (магнитной) связи

Между контурами расчет взаимной индуктивности производится по стандартной методике. Величина напряжения помехи соразмерно взаимной индуктивности, вместе с частотой или скоростью перемены тока. [1,5,7,9]. Способы снижения индуктивного влияния включают в себя:

- скрутку проводов;
- использование экранов;
- расположение контуров перпендикулярно друг другу;
- линейное увеличение расстояния среди контуров;
- снижение взаимной индукции при уменьшении длины участков.

При планировании рекомендуется предусматривать отдельную прокладку линий подверженных и мешающих влиянию.

5.2 Индуктивное влияние

Особенность этого вида влияния можно характеризовать паразитическим поттокосцеплением среди нескольких контуров оборудования. Поттокосцепление наводится за счет грозового удара молнии или за счет разряда устойчивого электричества.

Оно проявляется в появлении на отключенной воздушной линии (ВЛ) продольной электродвижущей силы от переменного магнитного поля действующей ВЛ. Присутствие поперечных активных и емкостных сопротивлений характеризует наличие напряжений «провод–земля». Индуктивное влияние создается как на заземленной, так и на не заземленной линии, отключенной от источника питания.

На рис. 5.2, а показаны два магнитно связанных контура. Напряжение помехи наводится во 2-ом контуре, за счет коммутаций в первом контуре при резко переменном токе $\Delta i / \Delta t$.

$$u_{st} = L_{12} \Delta i / \Delta t = -\Delta \Phi / \Delta t, \quad (5.1)$$

где Φ - магнитный поток, пересекающий 2 контур;

L_{12} - взаимная индуктивность первого и второго контуров.

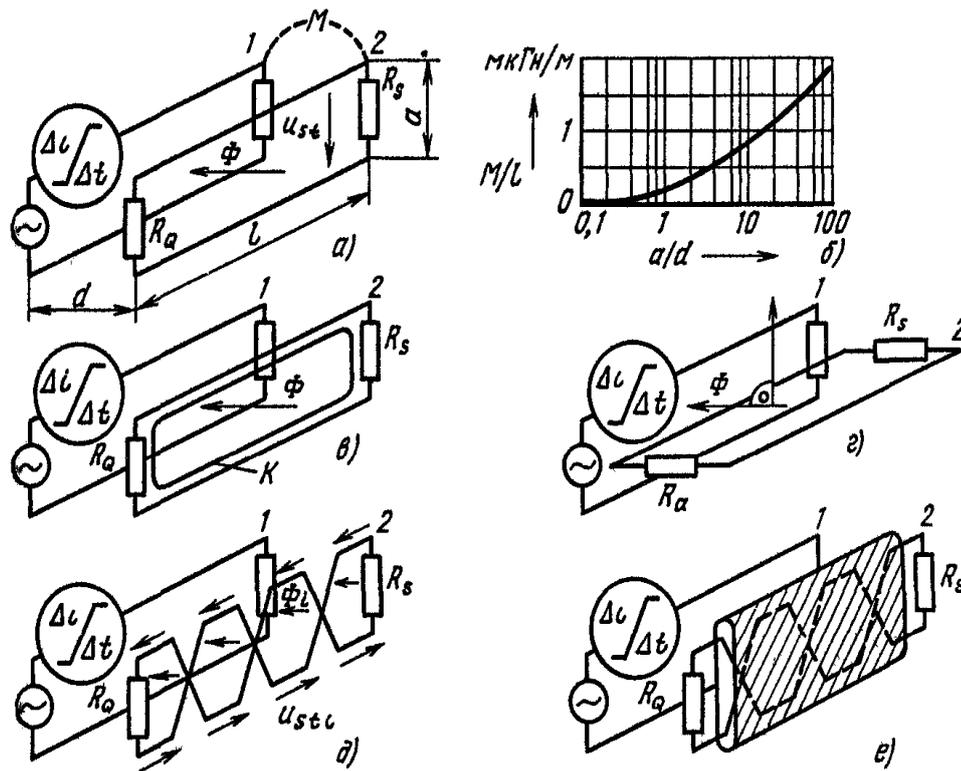


Рисунок 5.2 - Индуктивное влияние: а - принципиальная схема двух токовых контуров; б - погонная взаимная индуктивность; в, г, д, е - меры по снижению влияния ЭМП на промышленные контуры.

Число витков катушек, размеры и определенные формы устройств, их расположение относительно друг друга, величина магнитной проницаемости среды резко влияют на значение взаимной индуктивности (рис. 5.2, а).

Рассматриваемые формулы (5.1) и (5.2) при $l = 1$ м, $a/d = 0,1$ и $\Delta i/\Delta t = 1000$ А/с, можно принять напряжение помехи u_{st} равное 2,3 В.

$$u_{st} = \frac{\mu_0 a l \Delta i}{2\pi r_0 \Delta t} \quad (5.3)$$

где l и a - размеры контура, длина и ширина соответственно, м.

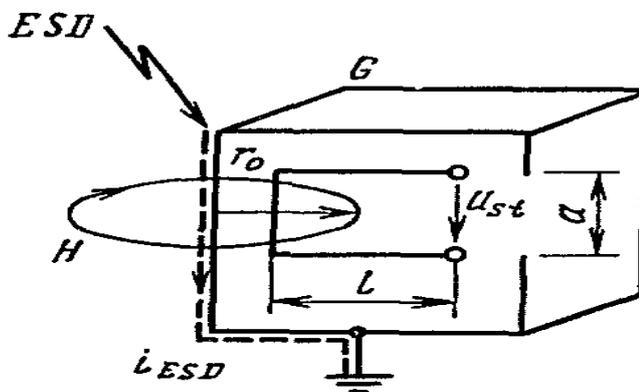


Рисунок 5.3 - Индуктивное влияние разряда статического электричества

При использовании простейших соотношений можно принять $u_{st} = al\Delta B/\Delta t$, $B = \mu_0 H$, и $H = i/2\pi r_0$.

Индуктивное влияние магнитного поля, наведенного в контурах напряжения, определяется из формулы 5.3 и 5.4. Площадь контура: сигнального контура (первого) - площадью $a_1 l$, второго - площадью $a_2 l$, образован заземленным проводом и проводом сигнального контура. Учитывая размеры $r_0 = 25$ м, $l = 20$ м, $a_1 = 0,4$ см, $a_2 = 60$ см и $\Delta i/\Delta t = 200$ кА/мкс из (5.3) производится расчет напряжения $u_{st1} = 128$ В в 1-ой петле, $u_{st2} = 19,2$ кВ - во 2-ой, которые приведут, к пробоям и повреждениям приборов G_1 и G_2 , если не использовать специальные защитные меры.

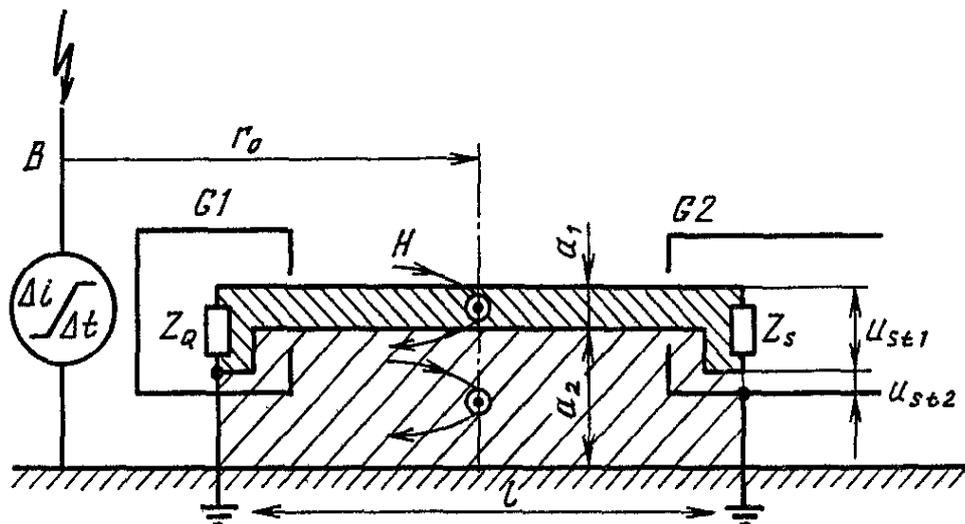


Рисунок 5.4 - Индуктивное влияние тока молнии на электрические контуры в устройстве автоматизации. В - канал молнии; G1, G2 - приборы устройства

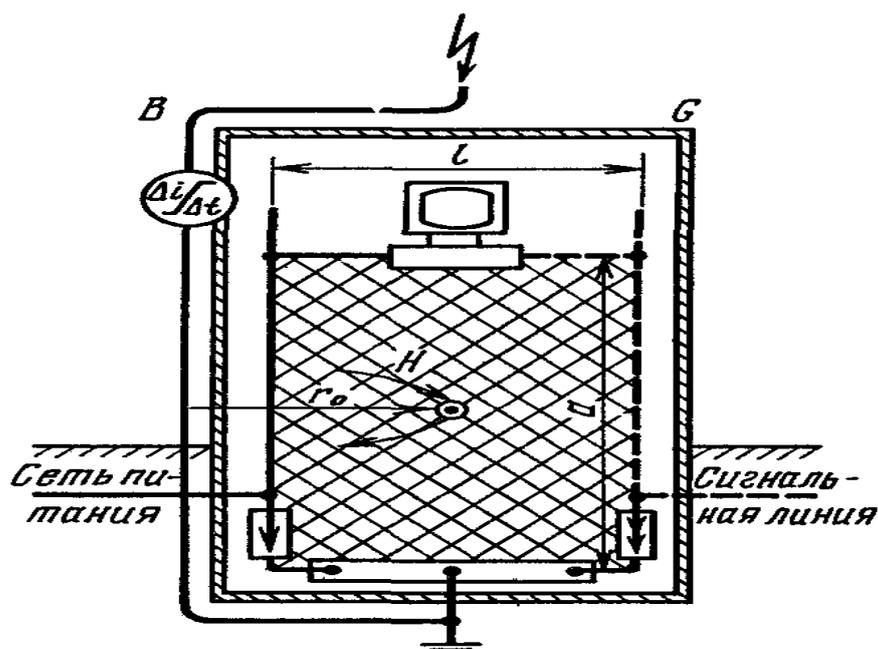


Рисунок 5.5 - Индуктивное влияние тока молнии на электрический контур внутри здания.

Рисунок 5.5 характеризует возникновение петли в здании G , созданной сетью питания и линией передачи данных. При $r_0 = 11$ м, $a = 15$ м, $l = 10$ м и $\Delta i/\Delta t = 200$ кА/мкс наведенное в петле напряжение (формула 5.3) возрастает до значения 540 кВ, что может отрицательно повлиять на включенные в сеть компьютеры.

Перечень мероприятий по снижению наведенных напряжений включает в себя, см. рис. 5.2:

Перечень мероприятий по снижению наведенных напряжений включает в себя, см. рис. 5.2:

- увеличение расстояния между сетевыми и информационными проводами;
- уменьшение площади контура, подвергающегося воздействию;
- уменьшение l за счет сокращения длины проводников;
- уменьшение скорости изменения во времени потока $\Delta\Phi/\Delta t$ при помощи короткозамкнутой петли K , расположенной непосредственно у сигнального контура;
- осуществление связи контуров 1 и 2 перпендикулярно направлению силовым линиям магнитного поля;
- компенсация индуктированного в контуре 2 напряжения путем скрутки проводов;
- снижение действия созданного магнитного потока путем скручивания соединительных проводов контура 1;
- экранирование кабелей, соединительных проводов.

6 ЕМКОСТНАЯ СВЯЗЬ

6.1 Емкостная связь. Понятия и определение

Емкостная или электрическая связь появляется между двумя осуществляющими проводимость объектами или проводами. Физический смысл этого процесса заключается в том, что в результате появления разности потенциалов между ними создается электрическое поле, моделируемое емкостью рассеяния (рис. 6.1). Рассмотрим случай, когда первый провод влияет на второй. В результате получаем следующее выражение:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\left(\frac{1}{j\omega C_{12}}\right) + \frac{R_2}{(1+j\omega R_2 C_2)}}{\frac{R_2}{(1+j\omega R_2 C_2)}}. \quad (6.1)$$

При рассмотрении низкоомной системы 2 при $R_2 \ll 1/\omega C$, получаем:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{j\omega C_{12}R_2}, \quad (6.2)$$

Напряжение помехи характеризуется выражением:

$$U_2 = U_1 j\omega C_{12}R_2 \quad (6.3)$$

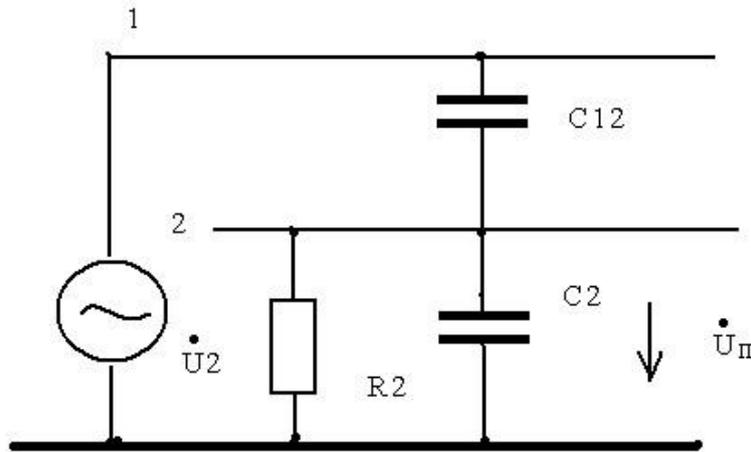
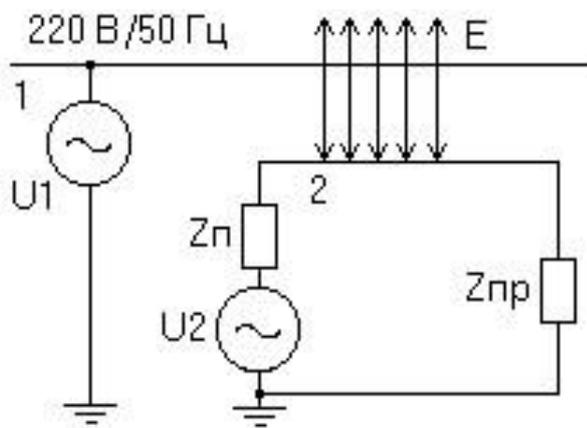


Рисунок 6.1 – Емкостная связь при эксплуатации неэкранированных проводов

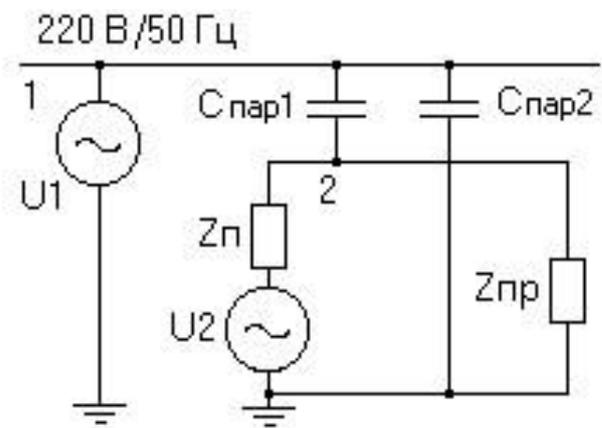
Для снижения емкостного влияния рекомендуется использовать следующие рекомендации:

1. Сократить длины участков параллельных проводов.
2. Увеличить расстояния между проводами.
3. Произвести экранирование системы.
4. Уменьшить величину R_2 .

При эксплуатации высокоомных приемников (микрофонов, осциллографов и т.п.) возможно появление квазистатической емкостной связи. [1,2,9].



a



б

Рисунок 6.2 - Схема электрической связи через паразитные ёмкости: *а* – полевая модель; *б* – цепная модель

Мешающий контур 1 - сеть 220 В, а подверженный помехе контур 2 – измерительная установка, напряжение которой составляет милливольты и измеряться осциллографом. Между проводом с напряжением 220 В, и измерительными проводами с потенциалом земли, возникает электрическое поле (рисунок 6.2, а), воздействие которого отражается в эквивалентной схеме добавлением паразитных емкостей $C_{\text{пар}1}$ и $C_{\text{пар}2}$ (рис. 6.2, б). Токи смещения создаются благодаря напряжению сети U_1 и ёмкости утечек, и уходят через общий массовый провод к нулевому проводу сети. Ток через ёмкость $C_{\text{пар}1}$ создает падение напряжения на внутренних сопротивлениях в контуре 2 $Z_{\text{п}}$ и $Z_{\text{пр}}$, которое накладывается на полезный сигнал как помеха.

6.2 Емкостное влияние

Паразитные емкости между проводами (кабелями) или проводящими участками, свойственные разным токовым контурам являются виновником возникновения емкостного влияния. Практический интерес вызывают такие показатели:

- кабели (провода) контура тока, характеризующиеся наличием большой емкости относительно земли;
- контуры (влияющий и испытываемый), оказывающие влияние при гальваническом разделении;
- общий провод в двух контурах схемы опорного потенциала.

6.2.1 Контур, разделенные гальванически

Упрощенный пример емкостного влияния представлена на рис. 6.3. В условии принимаем, что по сравнению с длиной волны размер контура l имеет небольшое значение по частоте. Схема проводников 1,2 - влияющий контур, 3, 4 - контур, подверженный влиянию. Устройства R_Q, R_S и C_{12} характеризуют полное сопротивление Z_i влияющего контура (рис. 6.3, б), а элементы R_Q, R_S и C_{34} - с их полным сопротивлением Z контура, для проверки емкостного влияния.

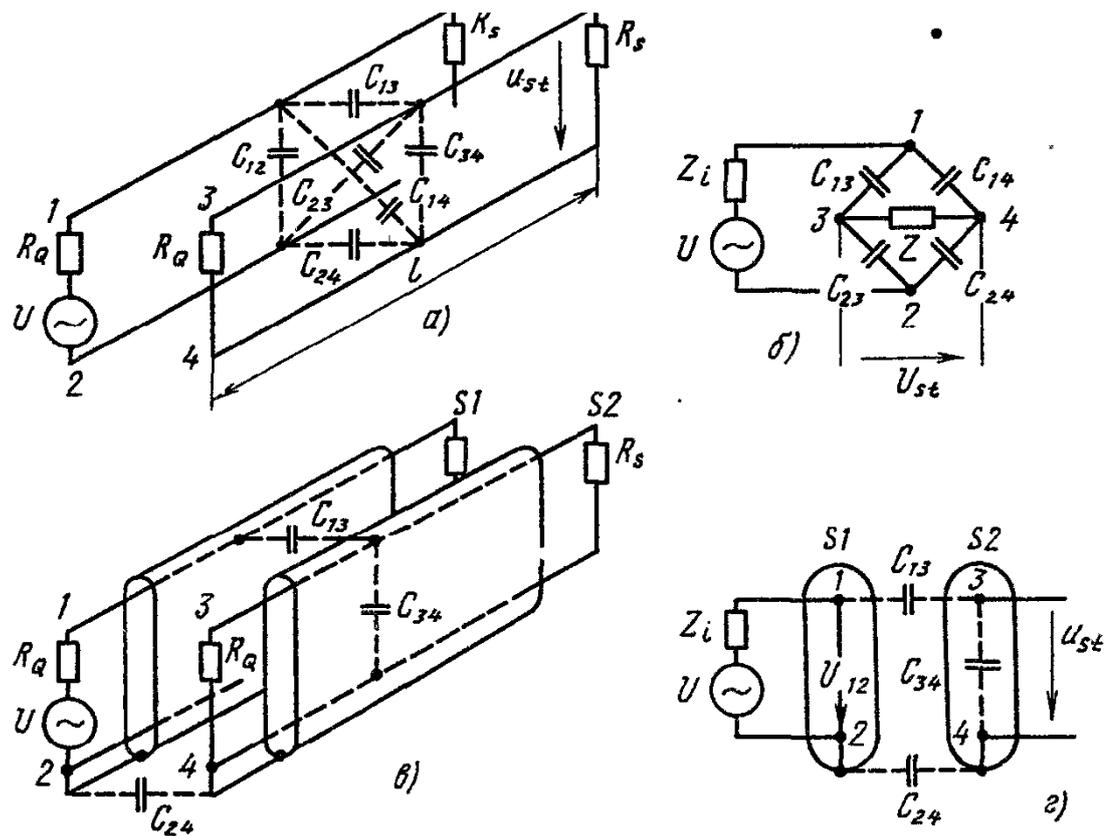


Рисунок 6.3 - Гальванически разделенные контуры: а - модель без экранирования; б - схема замещения; в - модель при; г - схема замещения

Напряжение помехи $U_{st} = 0$, при выполнении условия симметрии, характеризуется выражением :

$$C_{13}/C_{23} = C_{14}/C_{24} \quad (6.4)$$

Которое обеспечивается попарным скручиванием проводов *первого со вторым, третьего с проводом четвертым*, либо – при включении симметрирующих конденсаторов.

Уменьшение емкостного влияния в данных схемах можно добиться путем применения экранированных проводов, изготовленных из материала (рис. 6.3, в) с экранами S_1 и S_2 . Провода соединяются с одной стороны с элементом опорного потенциала определенного контура в результате чего растет емкость связи C_{13} . В ненагруженном состоянии Для ненагруженного контура, который подвергается влиянию (рис. 6.3, г) можно записать:

$$U_{st}/U_{12} = 1/(1 + C_{34}/C_{13} + C_{34}/C_{24}). \quad (6.5)$$

Из чего следует, что экранирующее воздействие лучше при большей емкости C_{34} проводника относительно экрана, если сравнить их с емкостями C_{13} и C_{24} .

6.2.2 Контур с общим проводом системы опорного потенциала

Аналоговые и цифровые схемы характеризуются контурами с общим проводом системы опорного потенциала. На рис. 6.4, а приведена логическая схема, в которой возможно изменение положения переключающего элемента при увеличении сигнала на выходе элемента A из-за появления паразитной емкости C_{13} . Учитывая, что $R_s \gg R_Q$ напряжение помехи в операторной форме будет выглядеть следующим образом:

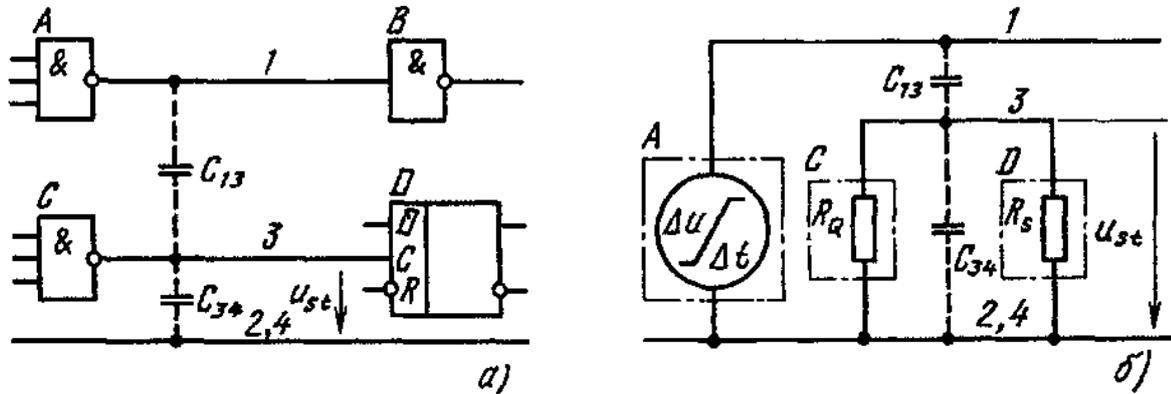


Рисунок 6.4 - Емкостное влияние контуров с общим проводом системы опорного потенциала 2, 4: а - схема с элементами логики; б - схема замещения; 1,2 - влияющий контур; 3, 4 - контур, испытывающий влияние; C_{13} - паразитная емкость связи

$$u_{st}(p) = \left[\left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right) \frac{1}{p^2} \right] \frac{p C_{13} R_Q}{1 + p R_Q (C_{13} + C_{34})} \quad (6.6)$$

Для решения этого уравнения можно использовать следующее уравнение:

$$u_{st} = R_Q C_{13} \left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right) (1 - e^{-t/R_Q(C_{13} + C_{34})}). \quad (6.7)$$

Где $\Delta u / \Delta t$ характеризует собой неизменную скорость линейно увеличивающегося выходного напряжения устройства A в интервале $0 \leq t \leq \Delta t$. При условии $R_Q(C_{13} + C_{34}) \ll \Delta t$ максимальное напряжение помехи рассчитывается по формуле:

$$u_{st \max} = R_Q C_{13} \left(\frac{\Delta u}{\Delta t} \right). \quad (6.8)$$

В уравнениях (6.6) - (6.8) емкости связи характеризуются геометрическими размерами и планировкой проводников. Проводники длиной l и диаметром D , размещенные относительно друг друга параллельно на расстоянии d (рис. 6.4), обладают емкостью связи:

$$C_{13} = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r l}{\ln[d/D + \sqrt{(d/D)^2 - 1}]} \quad (6.9)$$

Мероприятия по снижению емкостного влияния контуров включает некоторые условия:

- величина небольшой емкости связи C_{13} поддерживается путем снижения длины проводов l , уменьшения диаметра провода D , увеличения расстояния d

между проводами 1 и 2, анти параллельность их прокладки, разделение проводов и печатных плат с маленькой диэлектрической проницаемостью;

- увеличение емкости C_{34} , монтаж путем скручивания сигнальных проводов и элементов системы опорного потенциала, использование незанятых жил кабеля, расположение плоских проводов системы опорного потенциала на малом расстоянии при монтаже;

- монтаж низкоомными токовых контуров, которые могут подвергнуться влиянию;

- лимит скорости изменения напряжения $\Delta u / \Delta t$; ;

- экранирование проводов и контуров, восприимчивый к влиянию.

Применение экрана намного снижает емкость C_{13} , а емкость C_{34} растет, учитывая формулу (6.9) и при одинаковой скорости смены напряжения $\Delta u / \Delta t$ снижает напряжение помехи.

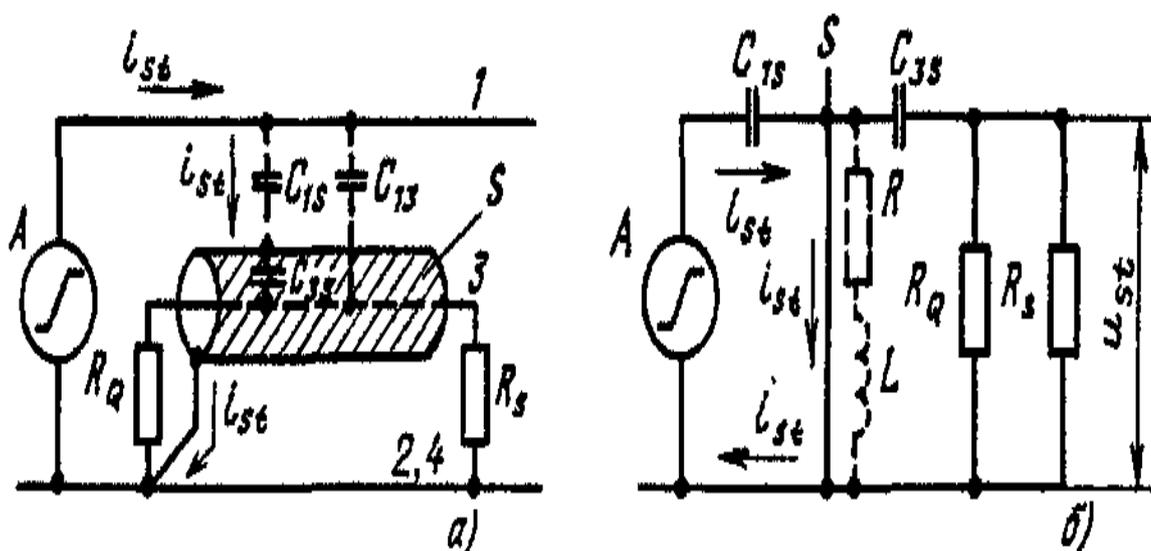


Рисунок 6.5 - Экранирование линии:

а - эффективное соединение экрана S с системой опорного потенциала 2, 4; б - схема замещения

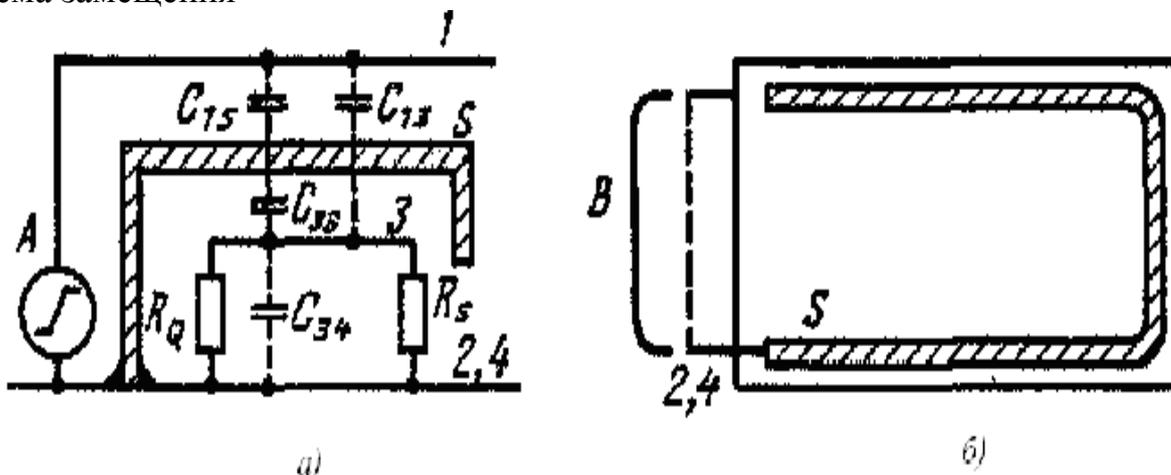


Рисунок 6.6- Экранирующие дорожки на печатных платах:

а - экранирующая дорожка S; б - короткозамкнутая дорожка

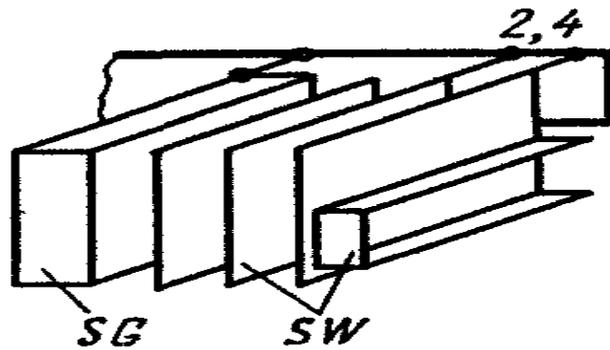


Рисунок 6.7 - Экранирование функциональных блоков печатных плат

Обычно экран служит для ослабления воздействующего магнитного поля.

6.2.3 Токовые контуры с большой емкостью относительно земли

Появляется ток помехи i_{st} , зависящий от емкостей C_1 и C_2 , в длинных заземленных сигнальных линиях в результате несимметрии относительно земли (рис. 6.8, а)

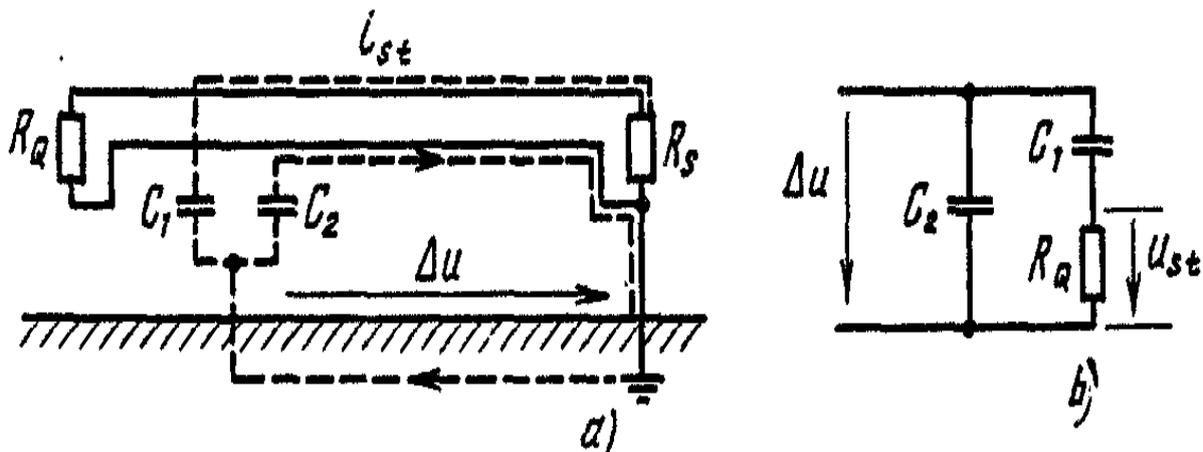


Рисунок 6.8 - Односторонне заземленная линия : а) с большими емкостями на землю C_1 и C_2 , б) схема замещения при $R_S \gg R_Q$

Если напряжение Δu меняется по синусоидальному закону с определенной частотой сети, то формула для напряжения помехи запишется как:

$$U_{st} = \Delta U / \sqrt{1 + 1/(2\pi f C_1 R_Q)^2} \quad (6.10)$$

Для борьбы с помехами необходимо убрать соединения с землей приемной ступени, вернее ликвидировать гальваническую связь между системой опорного потенциала и корпусом прибора (на практике данная рекомендация не всегда эффективна при высоких частотах), сигнальный контур рекомендуется выполнить предельно низкоомным (малые значения R_Q , R_S), при этом провести экранирование сигнальной линии. Действующая величина напряжение помехи при этом снижается до значения

$$U'_{st} = \Delta U' / \sqrt{1 + 1/(2\pi f C_{SL} R_Q)^2}$$

Повышение напряжения помехи можно достичь, если использовать последовательный резонансный контур.

Для снижения напряжения помехи рекомендуется:

- линии передачи сигналов выполнять строго параллельно относительно земли, при полной симметрии $U_{st} = 0$;

- ввести разделяющие потенциалы на приемном конце устройств, например, разделяющие трансформаторы, реле и т.п. Индуцирование и проникновение помехи в этом случае идет через паразитную емкость разделяющих элементов C_{st} ($C_{st} \ll C_1$; $C_{st} \ll C_2$);

- для передачи сигналов использовать световоды, что позволит практически устранить влияние емкости C_{st} .

6.2.4 Емкостное влияние молнии

Обычно молния врезается непосредственно в землю или проводящие предметы, находящиеся рядом (металлические части оборудования, осветительные мачты, молниеприемники и т.п.), т.е. канал молнии В (рис. 6.10) приобретает скоротечный высокий потенциал ($U_{max} > 100$ кВ) из-за снижения напряжения на сопротивлении заземления. При этом заряд сигнальной линии при наличии емкостей C_K и C_E увеличится до значения:

$$u_{st} = U_{max} C_K / (C_K + C_E)$$

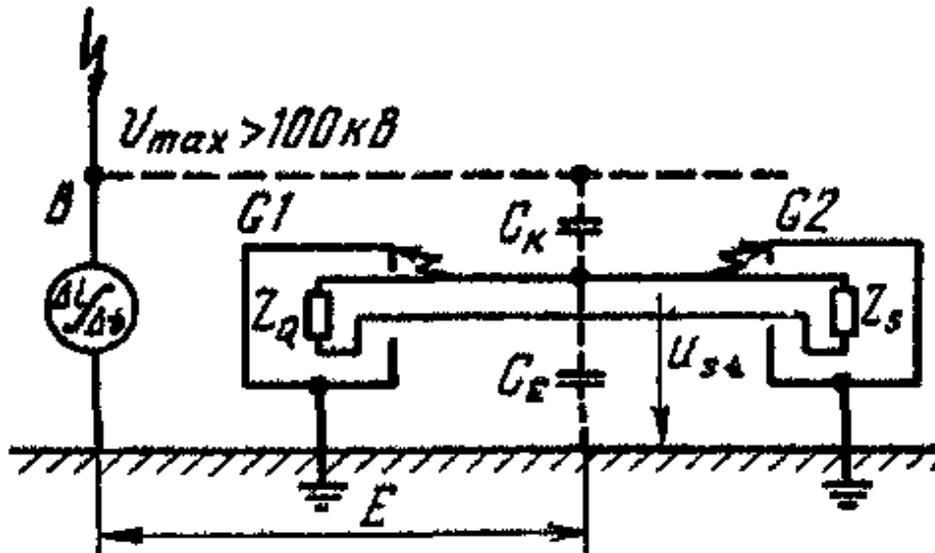


Рисунок 6.10 - Емкостное влияние молнии на линию В

Для защиты от этого явления применяются устройства защиты от перенапряжения (ОПН, варисторы и т.п.), если таких устройств нет, то входная изоляция приборов G_1 и G_2 будет испорчена, системе будет нанесен большой вред. В лучшем случае (минимальная интенсивность молнии, значительное расстояние до места удара, создается небольшое значение C_K) зарождается интенсивная помеха. Более надежная защита обеспечивается экранированием сигнальной линии.

7 ПОМЕХОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для поддержания электромагнитной совместимости требуется:

- снизить влияние помех через гальванические связи с их источниками;
- уменьшить проникновение этих помех через чувствительный элемент;
- создать условия для предотвращения появления перенапряжений в возможных точках источника помех;
- приостановить опасные перенапряжения для создания напряжения помех;
- снизить излучаемые источником электрические и магнитные поля;
- устранить прохождение этих полей через элементы подверженные влиянию.

К элементам для обеспечения снижения помех относятся: ограничители перенапряжения, фильтры - пассивные помехоподавляющие устройства и экраны.

Защитное экранирование предназначено для информационной безопасности, защиты здоровья, обеспечения электромагнитной обстановки, электромагнитной экологии. Присутствие ёмкостной или индуктивной связи характеризуется цепью доступа ЭМП во вторичных цепях. Результат уменьшения связи наступает путем экранирования электромагнитных полей. Поля высокой частоты экранируются ферромагнитными материалами или немагнитными материалами, но высокопроводящими.

7.1 Фильтры

7.1.1 Электрические фильтры

Электрические фильтры (ЭФ) рекомендуется использовать для сглаживания пульсаций напряжения выпрямителей; демодуляторов; цепей, в которых происходит разделение токов различного диапазона частот. ЭФ – это четырехполюсник, который проводит из входной цепи в выходную известный интервал частот в состоянии напряжения или тока. Зачастую это не очень большие цепи, которые состоят из двух-трёх элементов: конденсатора, катушки индуктивности или оба элемента вместе. Фильтры часто используются в электронных устройствах, половина всех элементов электронных схем работает в фильтрах на своей основной работе или по совместительству.

Полоса прозрачности (пропускания) - область частот, в пределах которой характеристика (АЧХ) устройства одинакова для того, чтобы добиться передачи сигнала без особого искажения его формы. Область частот, в которой ослабление *min*, называется **полосой пропускания**, а область частот, в которой ослабление *max* – **полосой задерживания**. Дополнительно в промежутке

между рассматриваемыми полосами вводится термин «полоса перехода». Фильтры – электрические соединения, которые неравномерно пропускают токи различных частот (рис. 7.1), их работа будет зависеть от схемы соединения катушек и конденсаторов.

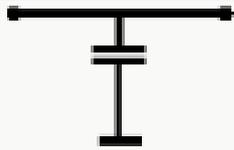
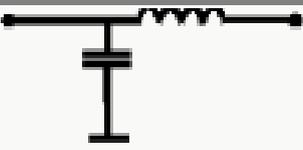
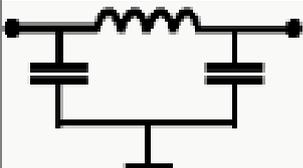
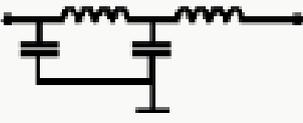
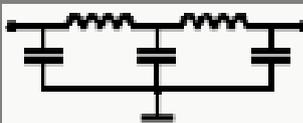
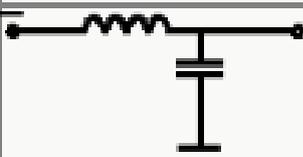
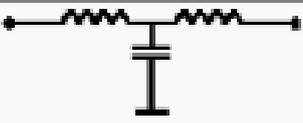
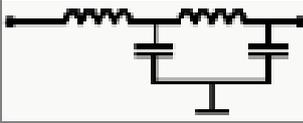
Параметры		Внутреннее сопротивление источника		Кривизна характеристики вносимых потерь	
		Высокий	Низкий		
Полное сопротивление (комплексное)	Высокий (>50 Ом)			20 дБ на декаду	
					40 дБ на декаду
				60 дБ на декаду	
					80 дБ на декаду
				100 дБ на декаду	
	Низкий (<50 Ом)				20 дБ на декаду
				40 дБ на декаду	
					60 дБ на декаду
				80 дБ на декаду	
					100 дБ на декаду

Рисунок 7.1 – Характеристика и схемы помехоподавляющего фильтра

Конденсатор и катушка относятся к реактивным элементам, сопротивление которых зависит от частоты. Эта их особенность может оказаться весьма нежелательной в тех случаях, когда по цепи с конденсатором и катушкой идут переменные токи разных частот и нужно создавать для всех этих токов равные условия. По-разному сопротивляясь токам различных частот, конденсатор или катушка в разной степени будут ослаблять эти токи. Но зато реактивные элементы незаменимы, когда необходимо разделить токи разных частот, протекающие в общей цепи.

На форму электрической схемы фильтра влияют следующие факторы:

Фильтр типа С - фильтр с малой индуктивностью (проходной конденсатор) шунтирует помеху на землю, работает при высоких полных сопротивлениях нагрузки и источника. Не рекомендуется применение этого фильтра в электрических цепях, характеризующихся прохождением нестационарных процессов или появлением перенапряжения.

Фильтр типа Г - рекомендуется применять в цепях с различными полными сопротивлениями электрической нагрузки и источника. При этом индуктивность обращает ся к низкоомной цепи.

Фильтр типа П – фильтр имеет два проходных конденсатора, и индуктивность между ними, работает в электрических цепях с большими полными сопротивлениями электрической нагрузки и источника.

Принцип работы фильтров одинаков независимо от их схем включения относительно друг друга (последовательно или параллельно). На рис. 7.2 приведены классические схемы пассивных и активных фильтров с разными частотами, на которых ясно видно, что ёмкость оказывает большее сопротивление низкочастотному генератору, а индуктивное – высокочастотному сигналу, при одинаковых значениях активного сопротивления для разных частот.

Такие фильтры используются в различных электротехнических устройствах начиная от низкочастотных усилителей до цифро-аналоговых преобразователей.

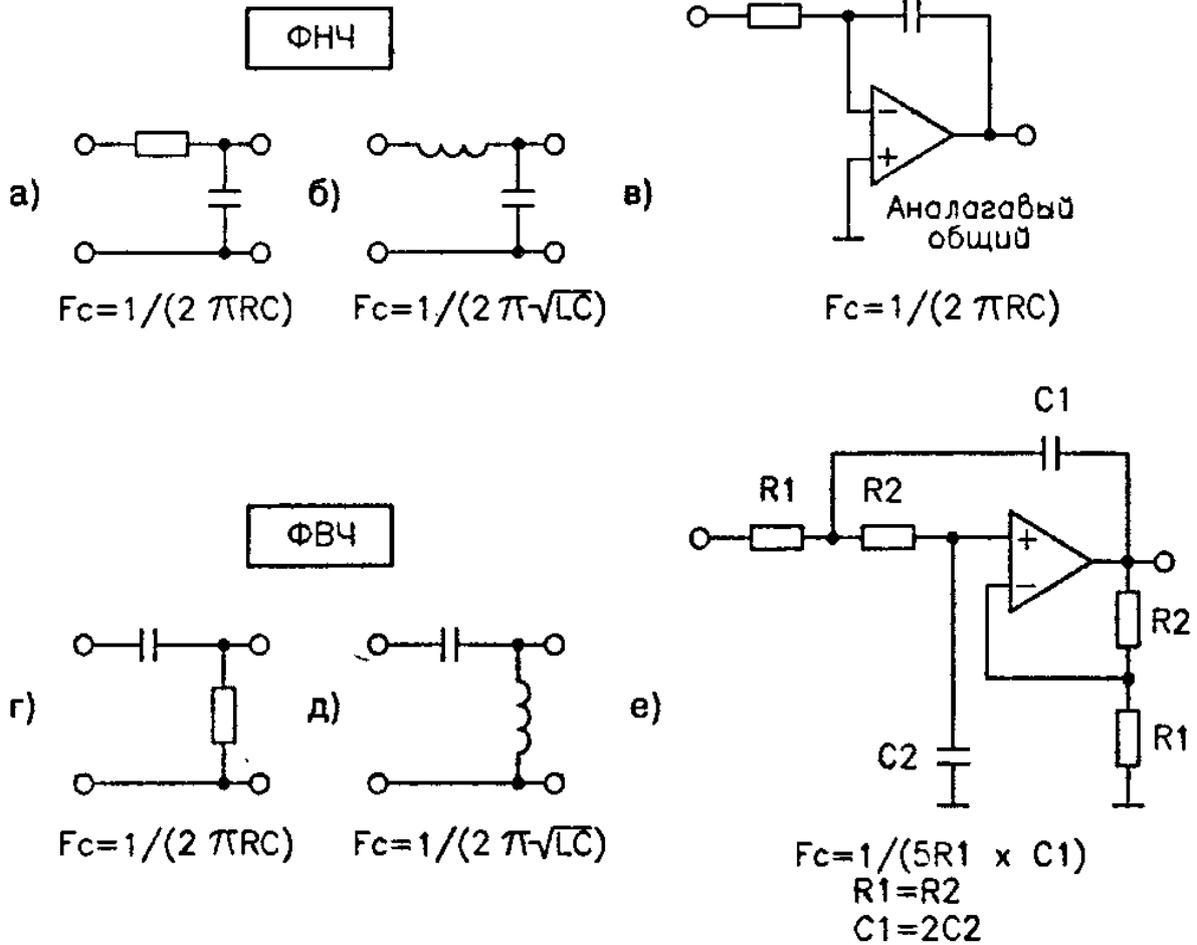


Рисунок 7.2 - Схемы фильтров низкой (ФНЧ - а, б, в) и высокой частоты (ФВЧ - г, д, е)

На изображенных схемах приведены формулы для расчетов частоты среза фильтра F_c .

Фильтры могут быть:

- пассивными, состоящими из индуктивностей и ёмкостей (пассивные LC-фильтры),
- пассивными, состоящими из сопротивлений и ёмкостей (пассивные RC-фильтры, используются при больших сопротивлениях нагрузки),
- активными (ARC-фильтры),
- кварцевыми,
- магнитострикционными, с переключающими конденсаторами,
- цифровыми (с использованием ЭВМ) и т.д.

Фильтры LC имеют широкое распространение, но в настоящее время интенсивно вытесняются ARC-фильтрами. Чрезвычайно перспективными являются фильтры с переключающими конденсаторами (AC фильтры). Кварцевые фильтры обеспечивают очень большие добротности (до десятков тысяч) на высоких частотах, а магнитострикционные – на низких. Фильтры применяются как в радиотехнике и технике связи, где имеют место токи достаточно высоких частот, так и в силовой электронике и электротехнике.

Свойства фильтрации четырехполюсников характеризуются появлением резонанса токов и напряжений и зачастую собираются по симметричной Т - или П - образной схеме.

Электрические цепи обычно содержат накопители энергии, так значения мгновенных $U_{\text{вых}}$ которых обычно перемещены по времени относительно подобных $U_{\text{вх}}$. Емкость это тот элемент, который зависит от частоты, поэтому считается, что с ростом частоты снижается время задержки сигнала.

В реальных условиях добротности катушек составляют десятки, иногда сотни, но для получения требуемых характеристик в ряде случаев необходимы добротности, значительно большие, прежде всего в полосовых фильтрах с узкой полосой пропускания. Для таких целей используют кварцевые фильтры.

Кварцевые фильтры работают по следующему принципу: в пластинке, вырезанной из природного материала – кварца, обнаруживаются прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты, состоящие в том, что при сжатии и растяжении пластинки, на одной её поверхности появляется положительный заряд, а на другой - отрицательный. Если же покрыть две грани пластинки металлом и приложить к ним переменное напряжение, то пластинка станет сжиматься и растягиваться, т.е. получаются механические колебания. Это называется обратным пьезоэлектрическим эффектом. Как всякая колебательная система, кварцевая пластинка имеет собственную частоту колебаний, которая зависит от её геометрических размеров. Собственная частота кварцевой пластинки при толщине 1 мм составляет единицы мегагерц.

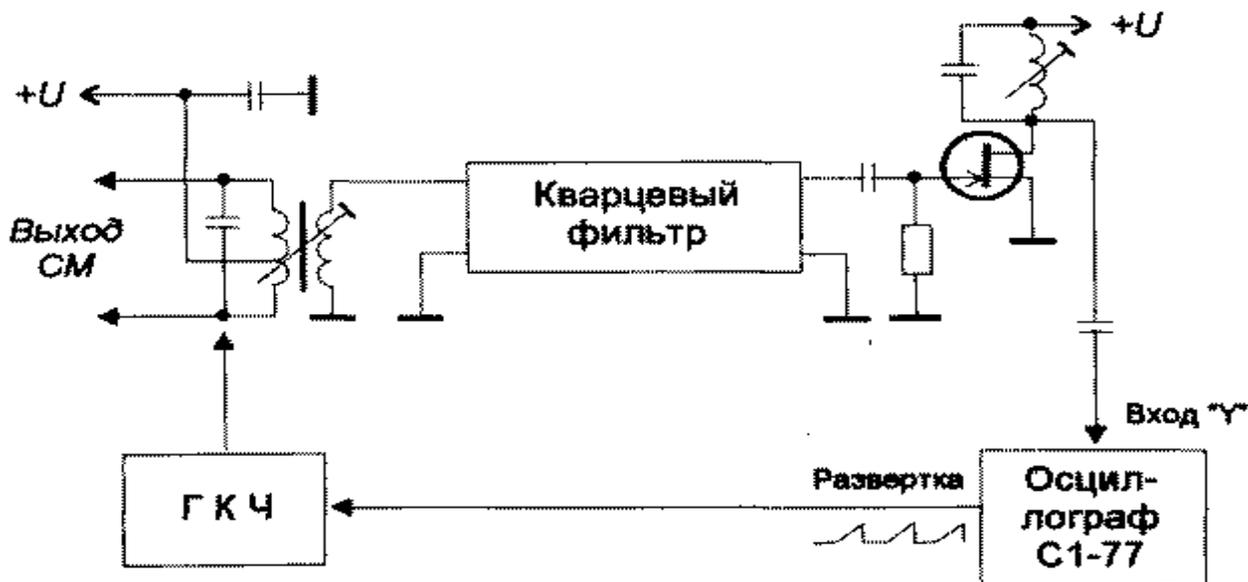


Рисунок 7.3 - Схема кварцевого фильтра

Активные фильтры – это фильтры класса ARC (рис. 7.3). В качестве активных элементов фильтров данного класса рекомендуется применять операционные усилители.

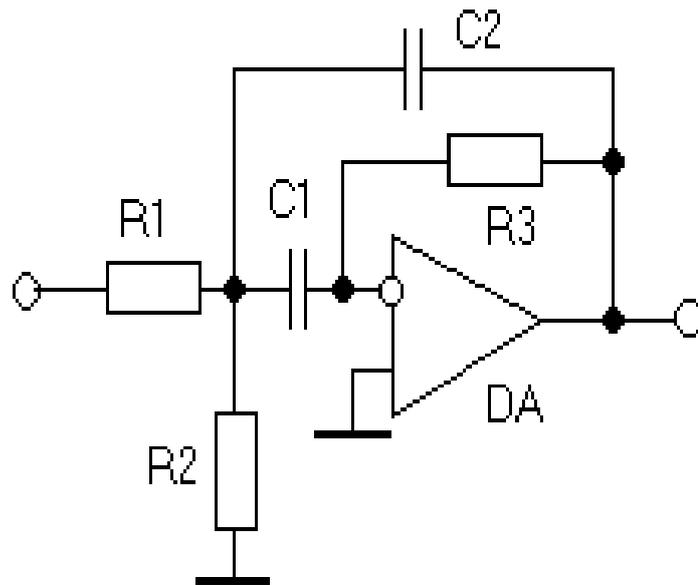


Рисунок 7.4 - Схема фильтра т ARC

В настоящее время ЭВМ получило интенсивное развитие, где широко используются эквалайзеры - цифровые фильтры (см. рис. 7.4). Их возможности практически неограниченны (но работа этих элементов зависит от сложности программы). Цифровые эквалайзеры не создают фазовых сдвигов частот, хотя, при необходимости это вполне можно симитировать. Они не увеличивают шум в сигнале, так как в этом случае идет обработка оцифрованного сигнала, качество которой зависит от битности, проблеме алгоритма и частоты дискретизации. В современной электронике функция эквалайзера проявляются не только в специализированных приборах, но и может быть смонтирована в такие устройства, как: вещательные процессоры, контроллеры акустических систем, цифровые усилители, конференц-системы и т.д.

Фильтры истощают распределение ЭМП по длине проводящих линий. Использование данных устройств подразумевает, что спектр частот полезного сигнала перемещен от спектра частот ЭМП $\geq 1/2$ ширины полосы пропускания. Явление непрерывности фильтра напрямую зависит от вида помехи. Симметричное напряжение получается как разность напряжений несимметричных режимов:

$$U_{\text{несим}}^1 - U_{\text{несим}}^2 + U_{\text{сим}} = 0 \text{ или } U_{\text{сим}} = U_{\text{несим}}^2 - U_{\text{несим}}^1 . \quad (7.1)$$

Помехоподавляющие фильтры характеризуются свойствами для поддержания необходимости затухания поступающей по проводам помехи. Эффективное их применение полагает, что спектральные характеристики полезного сигнала и помехи резко отличаются один от другого. Это помогает при определенных размерах фильтра гарантировать избирательное демпфирование помехи, если в это время отсутствует заметное искажения

полезного сигнала. Можно сказать, что эффект фильтрации устройства происходит за счет деления напряжения. Коэффициентом затухания фильтра характеризует эффект снижения помехи и приводится, как правило, в виде логарифма отношения напряжений в децибелах:

$$\alpha = 20 \lg \frac{U_{st}}{U_{st'}} \quad (7.2)$$

7.1.2 Сетевые фильтры

Сетевые фильтры - это фильтры низких частот, которые способны пропускать полезный сигнал в виде $U_{\text{сети}}$ и фильтровать высокочастотные составляющие помехи. Они используются: для защиты от помех сети питания и снижение уровня появления возможной помехи от ТС по проводам питания.

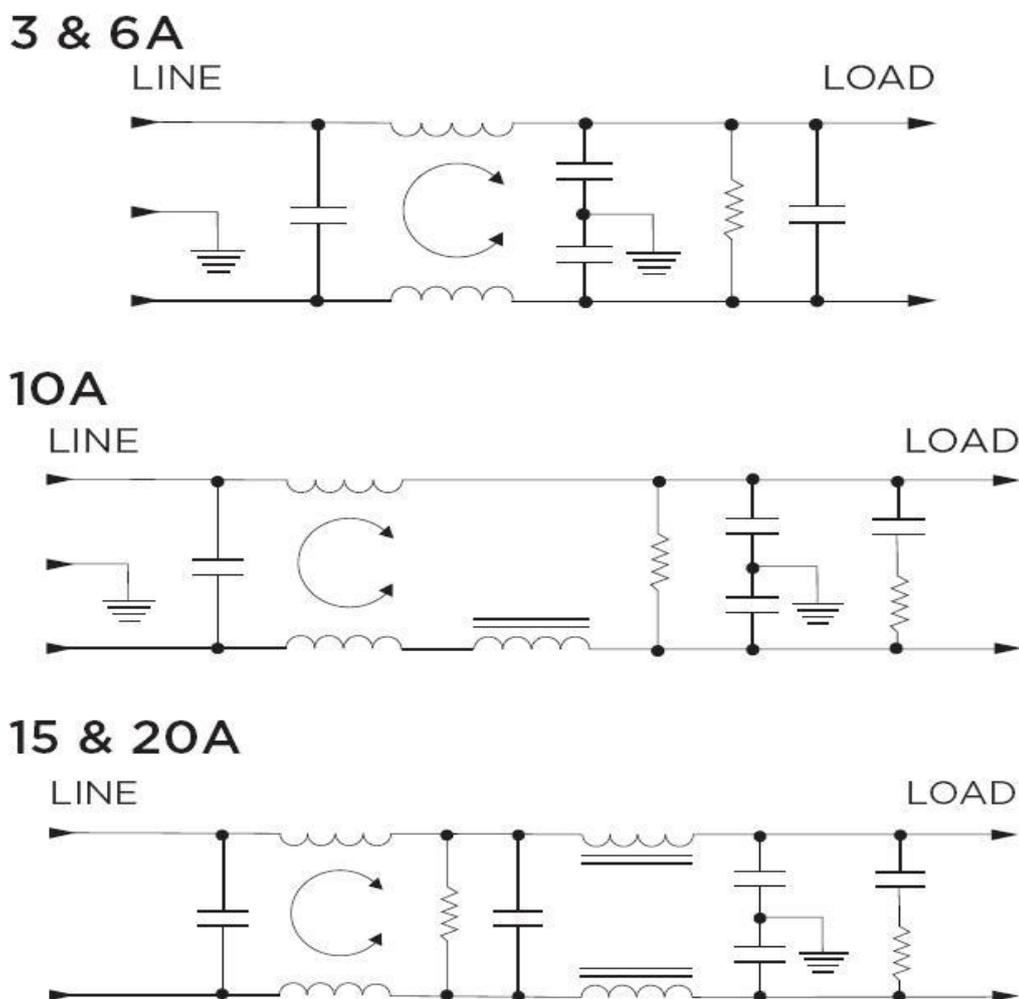


Рисунок 7.5 – Схемы сетевых фильтров

Продольный элемент фильтра выбирается с учетом потребляемого из сети тока. Хотя обычно значение полного сопротивления источника и приемника помех неизвестно, часто можно принять сопротивление со стороны сети малым, а со стороны нагрузки - большим. В связи с этим, для защиты приборов от помех со стороны сети доминируют фильтры. На рис. 7.6 приведена схема фильтра, содержащего катушку индуктивности со скомпенсированным магнитным полем. Фильтр содержит конденсатор C_x для демпфирования симметричных напряжений помехи и два конденсатора C_y .

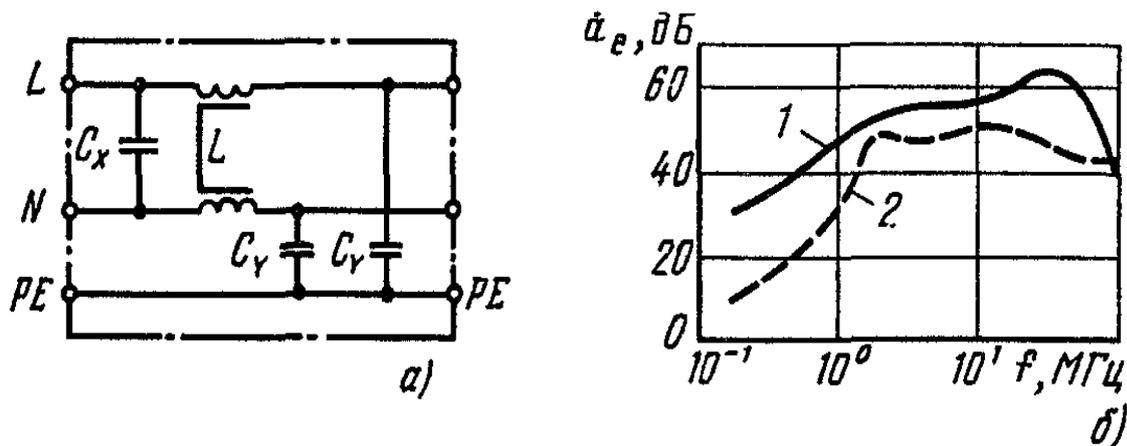


Рисунок 7.6 - Пример сетевого фильтра на 250 В, 1А:

а) схема, $C_x = 0,1$ мкФ, $C_y = 2 \times 3$ нФ, $L = 2 \times 3,7$ мГн; б) частотная зависимость α_e схемы измерений; 1 - асимметричные помехи; 2 - симметричные помехи C_y для отвода асимметричных токов помехи.

В настоящее время производится большое количество фильтров, которые отличаются от оригинала либо конструктивно, либо схемно, но которые могут уменьшать вредоносные волновые или механические колебания.

7.2 Ограничители перенапряжений

Ограничители перенапряжений - специальные элементы, защитные схемы и приборы - служат для снижения перенапряжений в электроэнергетических и информационно-электронных системах, вызванных молнией, разрядами статического электричества коммутационными процессами или другими причинами. Для обеспечения электромагнитной совместимости они выполняют защитные функции с целью предотвратить, в первую очередь, выход из строя электрических и электронных средств и вызванные этим нарушения нормального функционирования системы. Принцип действия ограничителей базируется на использовании резисторов R_B , обладающих нелинейной вольт-амперной характеристикой (рис. 7.7).

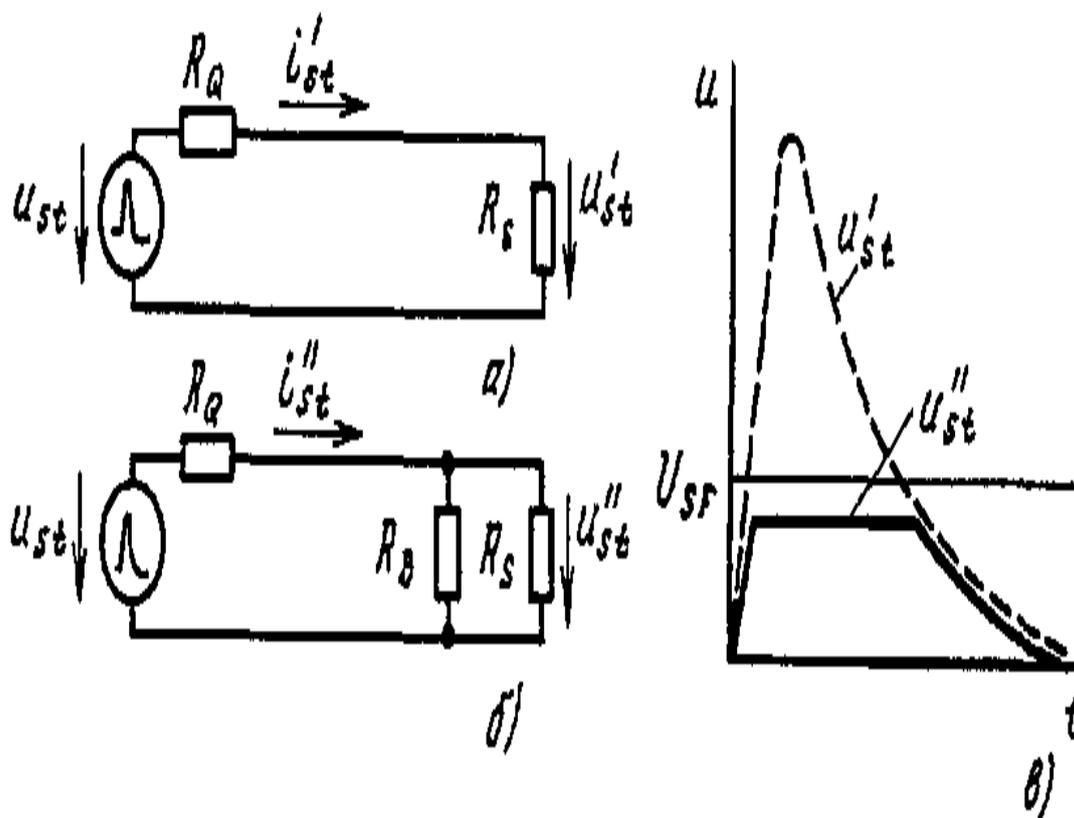


Рисунок 7.7 - Ограничение перенапряжений при помощи нелинейного сопротивления R_B : а - схема без защиты; б - схема с защитой; в - изменение напряжений во времени; U_{SF} — импульсная прочность входной цепи

В конкретных случаях ВАХ ОПН выбирается такой, чтобы в допустимых пределах изменения рабочего напряжения имело место очень большое сопротивление, а при превышении заданного напряжения - очень малое. Вместе с сопротивлением источника помехи ограничитель образует схему нелинейного делителя напряжения (рис. 7.7, б), который и снижает переходное перенапряжение до допустимого значения не превышающего

$$U''_{ст} = U_{ст} - i_{ст} \cdot R_0 \quad (7.3)$$

импульсную электрическую прочность защищаемого элемента (рис. 7.7, в).

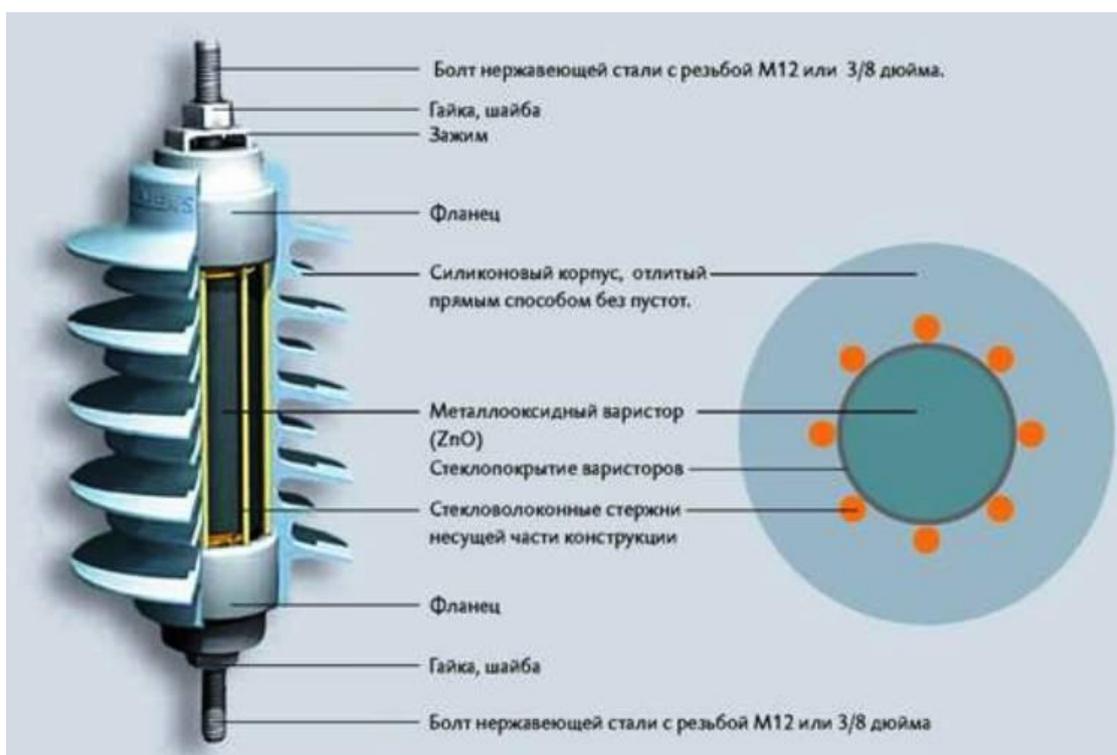


Рисунок 7.8 – Ограничитель перенапряжения

Конструктивно ограничители выполняются так, чтобы создать систему безопасной от возгораний и взрывов, особенно это значимо в период замыкания. При создании любого импульса, который в итоге приводит к аварии изоляционных систем, на ограничитель воздействуют серьезные колебания тока. Перенапряжения в данный момент не происходит, но в электрооборудовании эта величина резко снижается до безопасных величин.

Именно конденсаторы наиболее часто применяются В ОПН часто используются конденсаторы, которые представляют средства подавления помех. Для соблюдения нормативов требуется одновременного уменьшения обеих видов помех: как симметричных, так и несимметричных, при использовании различных помехоподавляющих конструкций (рис. 7.9).

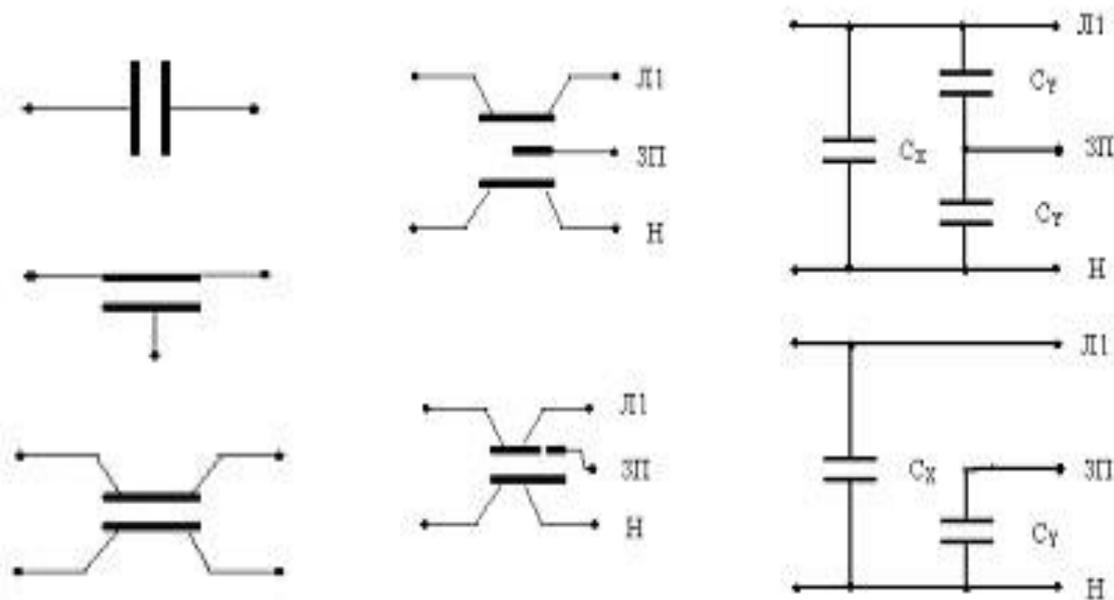


Рисунок 7.9 –Многозвенные помехозащищающие конденсаторы и схемы их замещения

7.3 Экраны

7.3.1 Принцип действия экранов

В основном экраны устанавливаются с целью снижения электрических, магнитных и электромагнитных полей в системах электроснабжения, а так же они не позволяют проникать ЭМ полям в приборы, кабели и здания. Обычно они уменьшают напряженности магнитных и электрических полей и располагаются между источником и приемником помех (рис. 7.10). С точки зрения физики экранирование характеризуется наложением на поверхности экрана заряда или создание тока. Зарождающие поля накладываются на воздействующее и ослабляют его.

Размер и конструкция экрана, частота поля, магнитной проницаемости материала влияют на эффективность работы экрана.

Для уточнения этих общих положений исходят из того, что принцип экранирования характеризуется:

1. поглощением энергии поля материалом экрана;
2. отражением падающей волны.

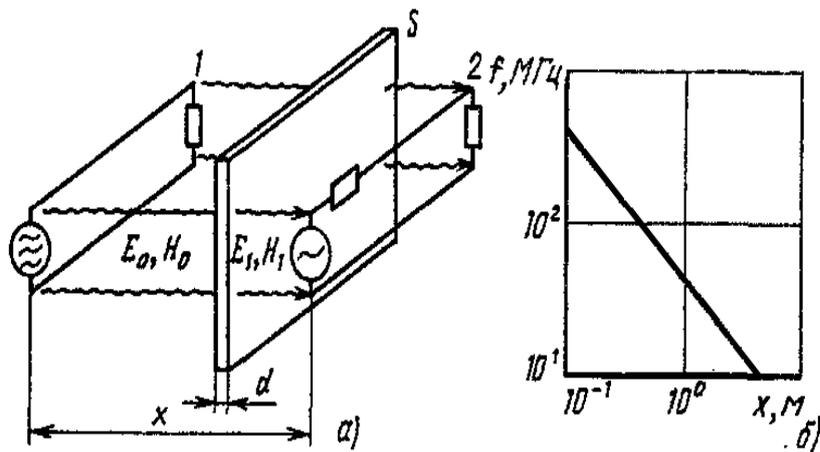


Рисунок 7.10 - Экранирование токовых контуров: а - расположение контуров 1, 2 и экрана S; б - граница между условиями ближнего и дальнего полей

Результирующий коэффициент затухания, дБ, можно определить как

$$\alpha_S = 20 \lg(E_0/E_1) \quad (7.4)$$

Или же

$$\alpha_S = 20 \lg(H_0/H_1) \quad (7.5)$$

Т.е. α_{SR} состоит из двух компонентов:

$$\alpha_S = \alpha_{SA} + \alpha_{SR} \quad (7.6)$$

Для определения взаимосвязей между этими коэффициентами и параметрами магнитного поля, размерами экрана и особенностью его материала необходимо учитывать величины полных сопротивлений по сравнению с распространением волн в электрически длинной 2-хпроводной линии. Для расчета коэффициентов затухания α_{SA} и α_{SR} , дБ, используются следующие выражения:

-коэффициент отражения для магнитного поля в прилегающей зоне ($x < c/2\pi f$)

$$\alpha_{SR} = [15 - 10 \lg(\mu_r / \sigma_r) + 20 \lg(x/x_0)] + 10 \lg(f/f_0); \quad (7.7)$$

-для электрического поля в зоне ($x < c/2\pi f$)

$$\alpha_{SR} = [202 - 10 \lg(\mu_r / \sigma_r) - 20 \lg(x/x_0)] - 30 \lg(f/f_0); \quad (7.8)$$

-для электрического поля в удаленной зоне ($x > c/2\pi f$),

$$\alpha_{SR} = [168 - 10 \lg(\mu_r / \sigma_r) - 20 \lg(x/x_0)] - 10 \lg(f/f_0), \quad (7.9)$$

- коэффициент поглощения, как для прилегающей, так и удаленной зон

$$a_{SA} = \left[(0,1314d / d_6) \sqrt{\mu_r \sigma_r} \right] \sqrt{f / f_6}, \quad (7.10)$$

где μ_r , σ_r - относительная магнитная проницаемость материала, его электропроводность, отнесенная к электропроводности меди ($\sigma_r = 5,8 \cdot 10^7 \text{См/м}$); $f_6 = 1 \text{ Гц}$ - базовая частота; d - толщина экрана, отнесенная к $d_6 = 1 \text{ мм}$; $x_6 = 1 \text{ м}$).

Следует подчеркнуть, что спад коэффициента aSR для ближней зоны происходит не на 10, как в остальных случаях, а на 30 дБ при увеличении частоты на порядок.

На эффективность экранирования влияет присутствие дефектов и отверстий в стенке экрана (трещины различных проемов, вводов кабелей и отверстий для элементов), при этом учитывается, что внутри экранов могут происходить резонансные эффекты, ибо корпус прибора с проводящими стенками характеризуется как объемный резонатор.

Для экранирования применяют медь как немагнитные металлы, а так же и ферромагнитные материалы. При этом обязательно учитывается, что постоянное магнитное поле не экранируется, а низкочастотное переменное уменьшается незначительно.

На практике используется довольно большое количество экранирующих материалов и устройства:

- сетки (редкая и мелкая), которые выполняются из меди служат для препятствия утечки информации и защищают ТС от ЭМП;
- грунтовки и краски, структура которых включает в себя тонкопроводной углерод (графит, сажа и т.д.);
- ткани с тонким поверхностным слоем металла или металлическими нитями;
- фольга из цинка, латуни или алюминия, которая наклеивается на защищаемую от ЭМП поверхность;
- облицовочные панели с наклеенными на нее ферритовыми и диэлектрическими материалами;
- экранные козырьки, навесы, перегородки, выполненные из металлической сетки с небольшими ячейками, укрепляемые на стальной раме, подключенные к контуру заземления.
- металлические ленты и оплетки для кабелей;
- металлические плетеные шланги и т.д.

С целью экранирования корпусов, кабин и помещений необходимо уплотнять дверные проемы, щели, отверстия из материалов, устойчивых к условиям окружающей среды, обладающих довольно малым сопротивлением при соприкосновении с металлическими конструкциями т.п.

7.3.2 Экранирование приборов и помещений

Электронные приборы и аппаратура обычно монтируется в металлических корпусах, которые обладают свойствами экранирования от

внешних электромагнитных полей. Но наличие в них окон, прорезей, отверстий уменьшает экранирующий эффект. Для соблюдения требований ЭМС и ЭМБ указанные недостатки необходимо устранить. С этой целью рекомендуется использовать гальваническое соединение всех стенок шкафов с обязательным уплотнением и равномерной силой прижатия металлической прокладки по всей длине.

По всей длине соединений обеспечивается равномерная сила прижатия стенок по всей длине соединения. В приборах, где корпуса выполняются из пластиковых материалов, например, в персональных компьютерах, мониторах, контрольно-измерительных приборах (КИП), корпуса которых изготавливаются из пластика эффект экранирования обеспечивается металлизацией или добавлением металлических нитей в материал корпуса.

Для комплексного экранирования помещений необходимо вокруг аппаратуры использовать проводящую оболочку, с целью отражения электромагнитных полей. На современном этапе развития средства экранирования имеют модульную структуру.

Экранированное помещение предусматривает решение следующих задач:

- выбор размеров материалов для экрана и материала для его изготовления, тип и количество дверных и оконных проемов;
- расчет необходимой эффективности в нужном диапазоне частот;
- выбор конструкции основных узлов: монтаж экрана к полу, потолку и стенам, типы соединения листов экрана и электромагнитного экранирования при вводах разных коммуникаций, вентиляционных систем, технологических отверстий, устройство контактных систем;
- выбор места расположения аппаратуры, обеспечивающей простоту фильтрации помехонесущих сетей и низкий уровень помех;
- выбор способов монтажа/ввода кабелей, характеризующихся несинусоидальными напряжениями или токами;
- выбор типов и количества кабелей, вводимых в экран;
- выбор типов фильтров и мест их монтажа, формирование схемы разводки электросетей.

Экранирование помещений от электромагнитных излучений широко применяется в самых разных отраслях промышленности, медицине и науке, в исследовательских и производственных проектах, а также при решении задач военно-промышленного комплекса. В таких конструкциях используются специальные материалы покрытий, специальные решения для обеспечения максимально комфортных условий работы обслуживающего персонала, реализуются особые технологические решения для вентиляции и организация водо-, тепло-, электроснабжения и автоматики, а также особые способы установки оборудования.

По условиям обеспечения безопасности (защиты от напряжения прикосновения) корпуса приборов и экраны помещений заземляются в определенных точках.

7.3.3 Экраны кабелей

Для обеспечения развязки помехосодержащих и чувствительных к помехам кабелей, а так же для уменьшения воздействия на них напряжения помех при их прокладке в каналах или жгутах, в общих кабельных трассах рекомендуется использовать кабельные экраны, которые изготавливаются из хорошо проводящих материалов с целью ослабления этих напряжений, но только при наличии заземления экрана. При заземлении экрана только с одной стороны, уменьшается поперечное напряжение, вызванное полем E , в результате байпасного (обтекаемого) действия экрана ($U'q < Uq$). При 2-х стороннем заземлении экрана создается замкнутый контур, в котором появляется ток I в случае изменения магнитного поля H . Используют два экрана, изолированные друг от друга, если затухание в одном экране недостаточно. При двустороннем заземлении (рис. 7.11, г) продольное напряжение характеризуется выражением:

$$\dot{U}_l = \dot{I} \frac{\dot{Z}_{Ka} \dot{Z}_{Ki}}{\dot{Z}_{Ka} + \dot{Z}_{Ki} + j\omega L}, \quad (7.11)$$

а при одностороннем (рис. 7.11, д)

$$\dot{U}_l = \dot{I} \frac{\dot{Z}_{Ka} \dot{Z}_{Ki}}{\dot{Z}_{Ka} + \dot{Z}_{Ki} + 1/j\omega L} \quad (7.12)$$

где: L - индуктивность соединения, а C - емкость между экранами, Z_{Ka} и Z_{Ki} - комплексные полные сопротивления внутреннего и внешнего экранов соответственно.

Рассматривая рис. 7.11 можно сделать выводы: внутренний экран с двухсторонним заземлением при низких частотах не обеспечивает макс экранирующего действия, так как Z_{Ka} и Z_{Ki} соединены параллельно. При высоких частотах $|j\omega L| \gg |Z_{Ka} + Z_{Ki}|$ наблюдается лучшее экранирование, чем при одном экране. В ситуации с односторонним заземлением внутреннего экрана наблюдается обратная ситуация.

Для полного использования кабельных экранов, необходимо выполнить следующие правила:

- внешние оболочки двойных экранов и обычные экраны на обоих концах должны иметь отличные контакты с корпусами приборов;

- внутренний экран либо с одной либо с двух сторон заземляется в соответствии от частоты поля помехи;

- внешний экран нельзя заземлять внутри прибора, из-за частичного ухудшения экранирующих свойств корпуса.

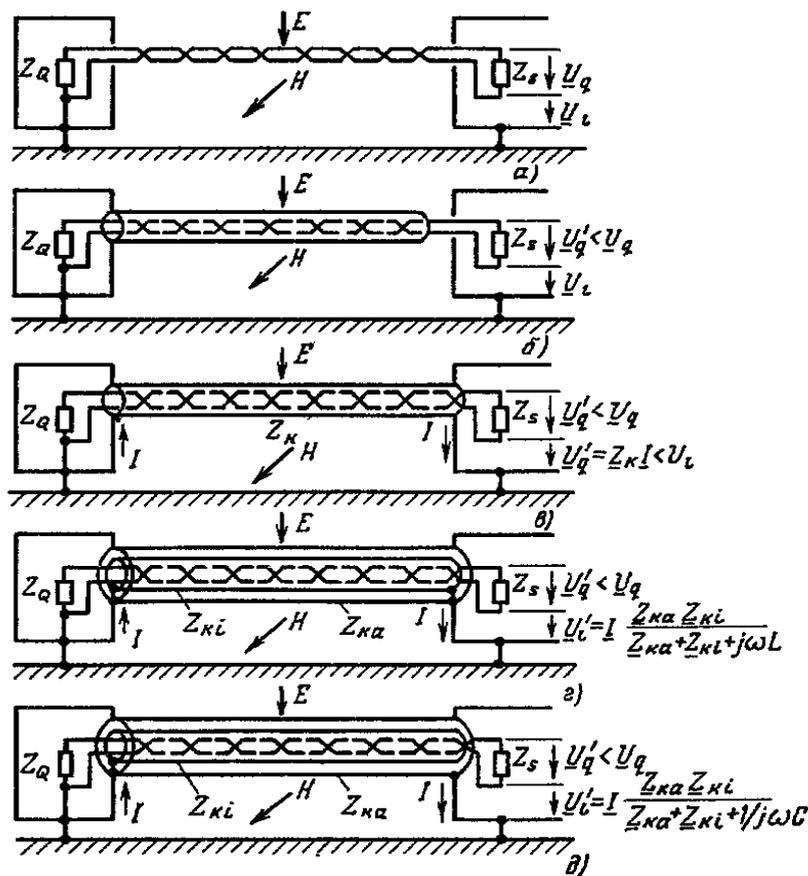


Рисунок 7.11- Воздействие экранов кабелей

где: а - неэкранированный кабель; б - одностороннее заземление экрана; в - двустороннее заземление экрана; г - кабель с двойным экраном и двусторонним заземлением внутреннего экрана; д - кабель с двойным экраном и односторонним заземлением внутреннего экрана

Использование экранированных кабелей позволяет снизить воздействие разности потенциалов среди точек заземления корпусов приборов, объединенных кабелями.

7.4 Разделительные элементы

Электронные средства автоматизации включают в свою схему подводящие провода с большой информацией и отводящие провода с сигналами управления. На электроустановки такого типа оказывают воздействия синфазные напряжения помех, индуцированных в кабелях при соединении элементов. Снижение такой опасности обеспечивается гальванической развязкой токовых контуров (внешних и внутренних). В системах электроэнергетики применяется защитное электрическое разделение электрических цепей (разделительные элементы), характеристика которых представлена в табл. 7.1.

Таблица 7.1 - Разделительные элементы

Разделительный элемент	Емкость связи C_p , пФ	Время задержки, мс
Электромеханическое реле	До 5	0,5-20
Оптическая связь	До 1	10-4-0,5
Твердотельное реле	5-10	8-10
Разделительный трансформатор	10-100	-
Разделительные схемы	До 1000	-

Защитное электрическое разделение цепей - это разобщение одной цепи от других цепей в ЭУ напряжением до 1000 В за счет использования двойной изоляции; основной изоляции и защитного экрана либо усиленной изоляции. Эти устройства способны создавать разности потенциалов в несколько киловольт и применяются тогда, когда необходимо обеспечить:

- безопасность при косвенных и прямых прикосновениях;
- бесперебойность работы электроприемников при к.з. на проводящие части, (медицинской аппаратуры искусственного дыхания, электростимуляции сердца и т.п.);
- малые токи утечки при работе электроустановок.

В основе процесса - электрического разделения цепей (рис. 7.12) лежит бесконтактная передача энергии, так как при защитном электрическом разделении цепей должно быть обеспечено гальваническое отделение одной цепи от другой, т.е. не должно быть проводников, связывающих эти цепи.

Через электромагнитное поле при наличии трансформатора с коэффициентом трансформации равным единице, электромеханических устройств возможно осуществить бесконтактный перенос энергии. На практике обязательно учитываются технические требования действующих нормативных документов для разных видов трансформаторов (стационарные и переносные, однофазные и многофазные, воздушные разделительные и безопасные разделительные и т.д.).

Разделительные трансформаторы классифицируются на:

- щитовые;
- присоединительные (встроенные, специальные). Встроенные трансформаторы рассчитаны для встраивания в изделие. Трансформаторы специальные монтируются с электрическими приборами или спецоборудованием либо входят в состав его комплекта.

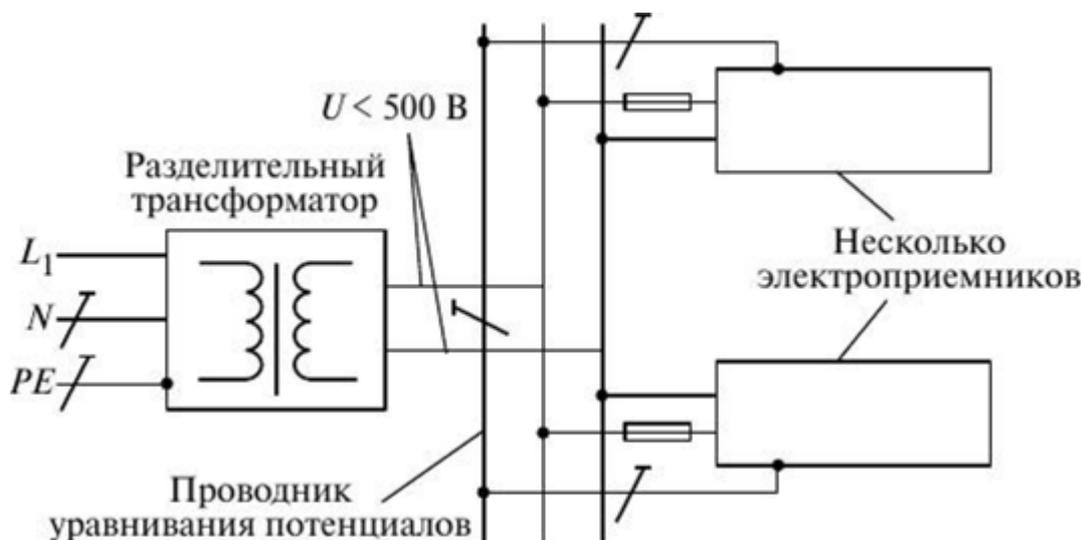


Рисунок 7.12 - Электрическое разделение цепей с несколькими электроприемниками

На значительном расстоянии от антенны приемник располагается в дальней зоне, где на него влияет переменное электромагнитное поле. Помехоподавление определяется степенью защитного влияния электромагнитного экрана, которое указывается в функции частоты в децибелах или неперах как коэффициент экранирования:

$$\mathcal{E} = 20 \lg \left(\frac{E_1}{E_2} \right), \quad \mathcal{E} = 20 \lg \left(\frac{H_1}{H_2} \right). \quad (7.13)$$

Параметры E и H при наличии переменного электромагнитного поля соединены между собой за счет волнового сопротивления среды:

$$\underline{Z} = E/H = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 / \mu\mu_0}. \quad (7.14)$$

При расчете действия электромагнитных экранов необходимо использование и решение уравнений Максвелла для внутренней и внешней областей экрана, а также в его стенке. Общий коэффициент затухания экрана включает: 1. коэффициента затухания вследствие отражения на граничных плоскостях P ; 2. коэффициента затухания из-за поглощения в стенке экрана Π (переход энергии электромагнитного поля в тепло); 3. корректирующего коэффициента B : $\mathcal{E} = P + \Pi + B$.

Расчет компонентов затухания:

1. Коэффициент затухания из-за отражения включает в себя две составляющие, которые характеризуются двумя плоскостями - снаружи и внутри экрана. Принимаем условие, при котором волновое сопротивление

внешней области $Z_{ВШ} \geq$ волнового сопротивления стенки экрана $Z_{Э}$. В результате получаем, что максимальная часть энергии отражается обратно к источнику. Деление напряженностей ЭМП падающей и прошедшей для внешней области характеризуется выражением:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ЭВШ}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})}{2Z_{Э}}. \quad (7.15)$$

Для внутренней области это отношение учитывает параметры как на внутренней стенке экрана, так и на внутреннем пограничном слое. Суммарное влияние отражения можно рассчитать по формуле:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})^2}{4(Z_{ВШ} + Z_{Э})}. \quad (7.16)$$

После введения обозначение $K = Z_{ВШ} / Z_{Э}$, формула запишется в следующем виде:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(1+K)^2}{4K}. \quad (7.17)$$

Выражение для коэффициента затухания в результате отражения с учетом логарифмических характеристик получится:

$$P_{дБ} = 20 \lg \frac{|(1+K)^2|}{4|K|}. \quad (7.18)$$

При этом нужно знать и учитывать волновые сопротивления источника помехи для дальней зоны $Z_{ВШ} = Z_0 = 377$ Ом, для ближней зоны при наличии высокоомных полей:

$$Z_{ВШ} = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{0,018}{rf}, \quad (7.19)$$

В НИЗКООМНЫХ ПОЛЯХ:

$$Z_{ВШ} = Z_0 \frac{2\pi r}{\lambda} = 7,9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f. \quad (7.20)$$

Для стенки экрана значение волнового сопротивления примет вид:

$$Z_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{(\sigma+i\omega\varepsilon)}}, \quad (7.21)$$

Учитываем, что толщина стенки экрана \geq глубины проникновения:

$$Z_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}}. \quad (7.22)$$

2. Коэффициенты затухания в результате поглощения Π характеризуют экспоненциальное снижение падающей волны при протекании ее через стенки экрана толщиной d :

$$\frac{E_{\text{ЭВШ}}}{E_{\text{ЭВН}}} = e^{\alpha d}. \quad (7.23)$$

В логарифмических величинах коэффициент затухания Π примет вид :

$$\Pi_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{E_{\text{ЭШВ}}}{E_{\text{ЭВН}}}. \quad (7.24)$$

3. При многократном отражении волны в стенке экрана коэффициент затухания Π может быть откорректирован на основании формулы:

$$B_{\text{дБ}} = 20 \lg \left| 1 - \frac{(K-1)^2}{(K+1)^2} \cdot e^{2\gamma d} \right|, \quad (7.16)$$

где $\gamma = (1 + i) \cdot \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ - комплексный коэффициент распространения.

7.5 Разрядники

Для защиты от перенапряжений применяются разрядники, которые ограничивают переходные перенапряжения, в результате создания разряда молнии; если отключаются индуктивные потребители; если возникают разряды статического электричества; электромагнитные импульсы при ядерном взрыве и т. п. Разрядники относятся к нелинейным резисторам, обладающих высоким сопротивлением, которое резко снижается при возникновении перенапряжений. Они образуют делитель напряжения с полным сопротивлением помехи Z_0 , характеризующийся нелинейным коэффициентом

деления, воздействующий на резкое снижение перенапряжения до величин $<$ импульсной электрической прочности элементов, которые необходимо защитить (рис. 7.13). Напряжение на нелинейном резисторе рассчитывается как

$$u'_n(t) = u_n(t) - i_n(t)R_n \quad (7.17)$$

В основном различают три группы разрядников, которые заметно отличаются по напряжениям срабатывания, устойчивости к импульсам тока, сопротивлениям при рабочем напряжении, остаточному сопротивлению при включении, динамическими характеристиками, а также многочисленными другими свойствами.

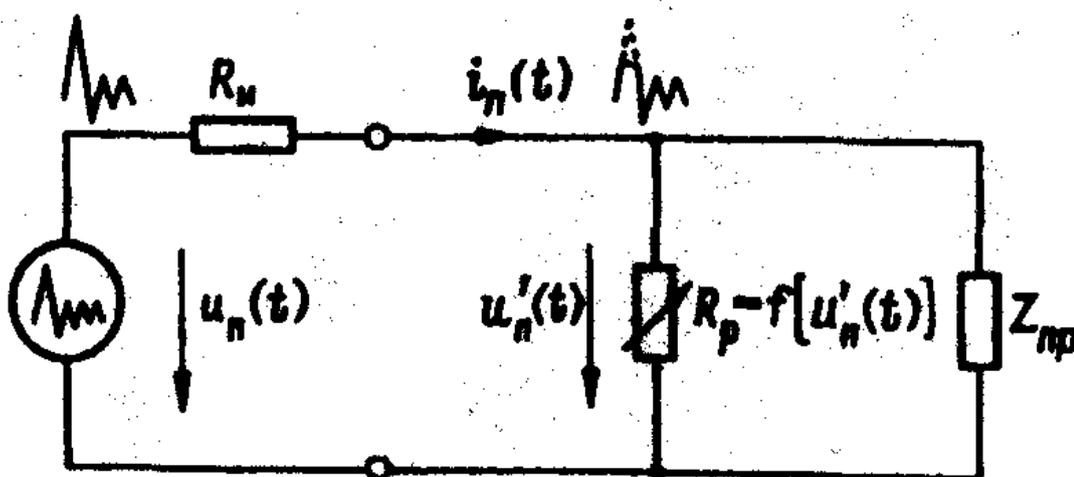


Рисунок 7.13 – Схема включения разрядником

7.6 Варисторы (ОПН)

Нелинейные резисторы - варисторы выполняются из оксидов металлов, их ВАХ в рабочем диапазоне может быть выражена уравнением:

$$I = KU^\alpha$$

В документах на варисторы нелинейную зависимость сопротивления зачастую представляют в двойном логарифмическом масштабе. За пределами рабочего диапазона, При экстремально *max* или *min* токах за область рабочей зоны возникают отклонения остаточного сопротивления внутри зерен или от внешних токов утечки.

Схема замещения варистора изображена на рис. 7. 13,а.

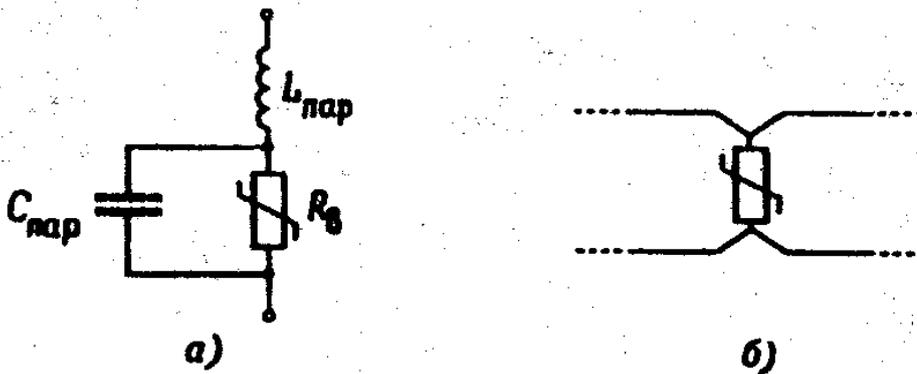


Рисунок 7.14 - Схема замещения варистора (а); монтаж варистора (а)

При изменении сопротивления на границах зерен $Z_{\text{нО}}$ постоянные времени действительных изделий находятся в наносекундной области из-за величины индуктивности выводов $L_{\text{пар}}$ и явлений поверхностного эффекта. Для исполнения быстрого защитного действия активного элемента при высоких частотах или крутых фронтах напряжения, необходимо проводить монтаж варисторов подобно монтажу помехозащитных конденсаторов.

При выборе типа варистора учитываются следующие положения:

1. Заданное номинальное рабочее U рассчитывается с учетом 10-20% на увеличение напряжения.

2. Максимальный импульсный ток в зависимости от габаритов варистора определяется с учетом переходного напряжения и внутреннего сопротивления источника помех. Max доп. нагрузка варистора обуславливает число срабатываний варисторов на протяжении всей работы.

3. Максимальное свойство поглощения энергии зависит от числа срабатываний варистора на все время работы. При повторяющихся Если срабатывания повторяются, то эти значения в определенных случаях могут уменьшиться в несколько раз.

4. Размер варистора зависит от продолжительности нагрузки. При периодически повторяющихся перенапряжениях осуществляется перерасчет оценки мощности временных потерь. Она определяются через умножение энергии импульса и частоты повторения импульса $P=Wn$, или как деление энергии импульса на времяпаузы между импульсами: $P=W/T$.

5. Расчет остаточного напряжения для проверки уровня защиты при max импульсном токе из ВАХ. При неизвестном I_{max} , учитывают величину остаточного напряжения и расчет производят по приближенному значению тока, после чего и уточняют остаточное U . Расчет производится многократно, что может привести к искомому значению.

Конструкции варисторы могут быть дисковой или блочной формы для больших токов либо трубчатой формы для штепсельных разъемов.

7.7 Кремневые лавинные диоды

Лавинный диод, как однополярный конструктивный элемент это прибор выполненный из кремния, работа основана на подаче на слой полупроводника с *p*-типом проводимости (анода) отрицательного *n*-слоя (катода) напряжения.

Лавинный пробой создается при напряженности электрического поля в *p-n* переходе убедительный для ударной ионизации, именно при ней носители заряда, производимые полем формирует пары электрон-дырка. Количество пар растает при увеличении поля, что ведет к увеличению тока, поэтому напряжение на диоде практически не изменяется. Преимущество кремневых диодов по сравнению с полупроводниковыми диодами характеризуется тем, что при возрастании напряжения пробоя не разрушается, а возникает большой ток, который течет в обратном направлении. Именно с целью обеспечения ЭМС разработаны специальные кремневые диоды с мах по площади *p-n*-переходом для большого тока обратного направления. Время срабатывания диодов данного типа перемещается в наносекундный диапазон. Подобно варисторам они характеризуются большими емкостями, что не позволяет применять их в высокочастотных системах. Симметричная характеристика достигается включением встречно-последовательного пути. Их выбор производится подобно выбору варисторов при наличии характеристик или предельных данных, отмеченных изготовителем.

7.8 Искровые разрядники

Искровые разрядники защищают как ЭЭС при прямых ударах молний так и телекоммуникационные сети ($U_{ср} \geq 80$ В). В отличие от варисторов и лавинных диодов искровым разрядникам характерны ярко выраженные пневмокоммутационные свойства.

Напряжение на искровом промежутке при изменчивой нагрузке становится выше статического напряжения пробоя. Через определенное время, разрядник пробивается, после чего сопротивление его уменьшается раз в десять, напряжение уменьшается до значения тлеющего разряда (70-130 В), далее при малом внутреннем сопротивлении до напряжения дуги $U < 20-25$ В).

Можно отметить два недостатка Разрядники по сравнению с ограничителями перенапряжений имеют два основных недостатка:

- при большой крутизне перед срабатыванием напряжение устанавливается до мах значения, с другой стороны, напряжение горения разрядника U_{min} , разрядник в цепи постоянного тока при появлении переходного перенапряжения не гасится.

- в низкоомных сетях Ураб вызывает через разрядник проходящий ток, который его термически разрушает.

Выбор разрядника рекомендуется производить с необходимой вольт-секундной характеристикой, ступенчато-грубой или тонкой защитой. Для

разрешения второй проблема рекомендуется последовательное подключение к разряднику варистора .

При увеличении рабочих напряжений и сетях с низким сопротивлением, наполненные инертным газом разрядники, находят большое применение в гибридных схемах. С учетом требований к статическому и динамическому режимам срабатывания газ, электроды и соответствующие устройства ускорения зажигания могут быть изготовлены радиоактивными.

7.9 Гибридные разрядные цепи

Эффективная работоспособность искровых разрядников, их быстродействие и отсутствие тока у варисторов и диодов позволяют создавать рациональные гибридные схемы из их комбинаций. Рациональной комбинацией можно считать последовательное включение этих видов защитных устройств (рис. 7.14).

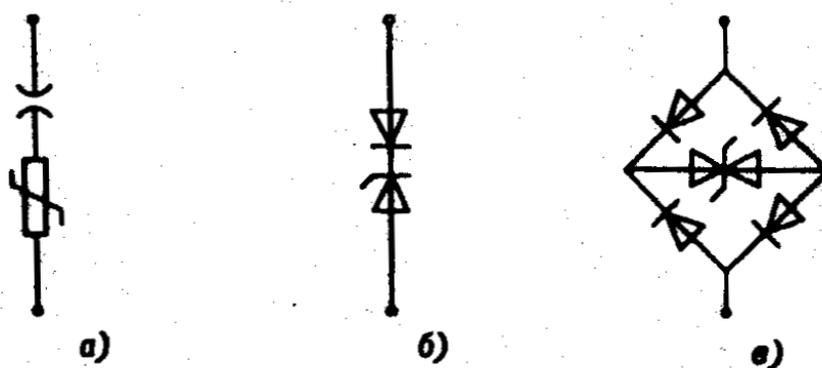


Рисунок 7.15 - Последовательное включение защитных элементов:

а - последовательное включение разрядника и варистора; *б* - последовательное включение помехоподавляющего диода; *в* - последовательное включение элементов в мостовой схеме.

В качестве материала варистора в устройствах данного типа применяется карбид кремния, который характеризуется его долгосрочной стабильностью. Большой ток утечки не играет роли, так как варистор в нормальном режиме работы отделен от сети искровым разрядником.

Допустимый прямой ток малоемкостного диода должен быть равен максимальному импульсному току, а напряжение запирания должно быть больше U_p . Наряду с последовательным включением применяется также параллельное включение искровых разрядников и варисторов (рис. 7.16).

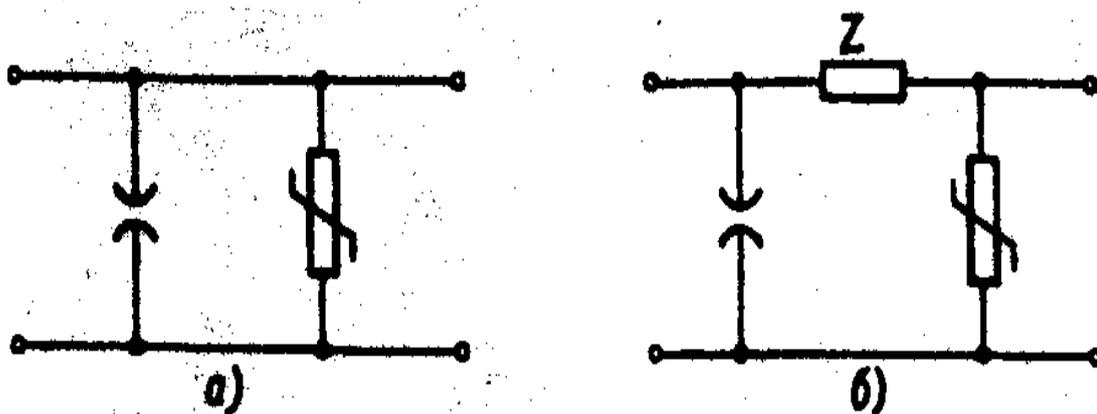


Рисунок 7.16 - Параллельное включение элементов:
a — прямое включение; *б* — косвенное включение

Рекомендуется в данных схемах дополнительно использовать *LC*-фильтр или оптрон для снижения синфазных помех с учетом окружающих их помех и механизма связи (рис. 7.17).

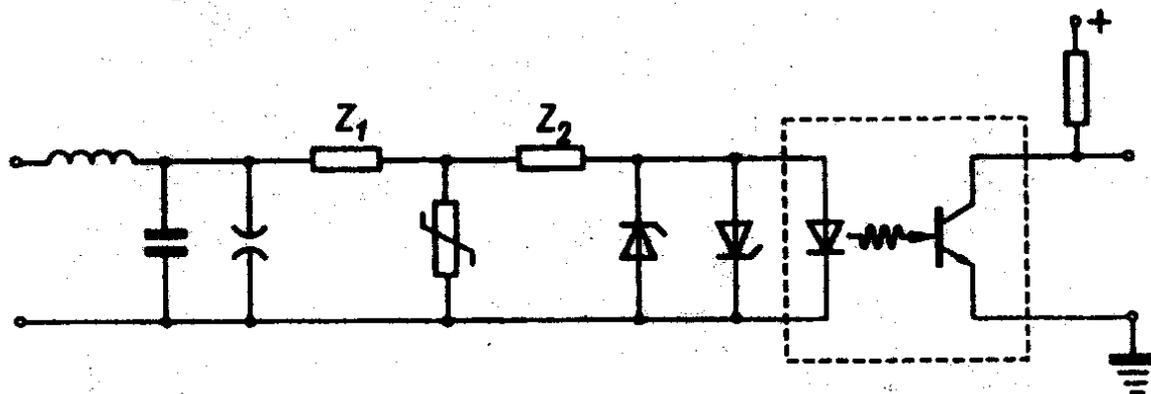


Рисунок 7.17 - Совершенная ступенчатая защита

В настоящее время промышленностью широко выпускаются и на практике используются разрядники и гибридные устройства всех видов в многочисленных вариантах: защищенные розетки, защитные адаптеры кабельных линий и линий передачи; защитные блоки, вмонтированные в стандартную европейскую плату.

7.10 Оптоны и световодные линии

Оптоны используются для подавления синфазных помех. Их можно рекомендовать для развязки заземленных контуров в системе передачи данных или на входе и выходе регуляторов с программируемой памятью (рис. 7.18).

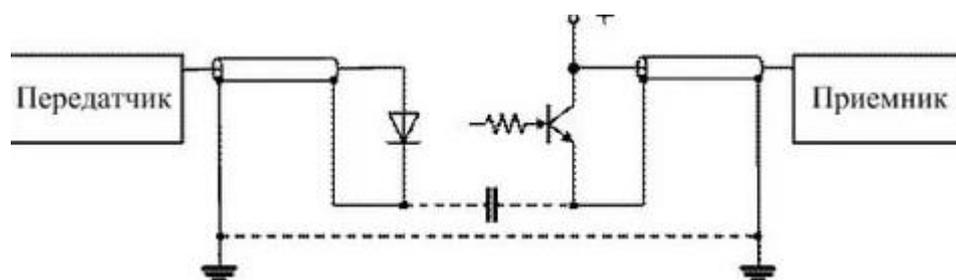


Рисунок 7.18 - Включение оптрона для подавления синфазных сигналов (разрыв контура заземления)

При особых требованиях к ширине пропускания и коэффициенту передачи оптроны применяются для передачи аналоговых импульсов U или I , т.к. они обладают различным увеличением по току и разной полосой пропускания.

Способность оптрона снижать синфазную помеху резко падает из-за паразитной емкости между входом и выходом. Заземленные проводники позволяют уменьшить емкостную связь заземленным проводником, расположенным между входом и выходом, если это допустимо по U .

Подавление синфазной помехи можно достичь при помощи световодных линий, которые выдерживают разность потенциалов в электроэнергетических системах или в электрофизических установках до мегавольтового диапазона..

8 ТИП, СПОСОБ И ТРАССА ПРОКЛАДКИ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМБ

На территории распределительных устройств, подстанции, электрической станции и т.п. цепи релейной защиты и противоаварийной автоматики, цепи контроля, измерения и управления обычно монтируются кабелями. В районе действия рассматриваемо-го объекта появляется возможность возникновения электромагнитных помех. Согласно стандартам кабели являются пассивными элементами и не нормируются по требованиям ЭМС, но выбор кабеля - ответственный шаг для системного проектирования с точки зрения ЭМС, т.к. возникающие помехи воздействуют на оборудование через кабели. Учитывается, что величина ЭМП и порог чувствительности к помехе зависит от способа монтажа, типа кабеля и вида передаваемого сигнала.

8.1 Классы кабелей



Рисунок 8.1 – Классы кабеля для обеспечения ЭМС

1. Кабели класса 1 - применяются для цепей воспринимающих сигнал небольшой величины (от датчиков нагрузки, термопар, тензорезисторов, термисторов, для аналоговых и цифровых цепей в качестве высокочастотных кабелей). Предел сигнала должен лежать в пределах от 1 В, 1 мА, при полном Z более 1 кОм и частоте ≥ 1 МГц.

Для снижения помех экраны кабелей данного класса требуется крепить к контактной панели с помощью кабельных муфт. Рекомендуется учитывать требования производителей низковольтного электротехнического оборудования, которые используют чувствительные сигналы относительно марок кабелей, распределительных коробок и путей прокладки кабелей, и неукоснительно их придерживаться.

3. Кабели класса 2 практикуют использовать с устройствами экранирования для маловосприимчивых цепей с параметрами от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В с частотой < 1 МГц при монтаже шин в низкочастотных цифровых приложениях (например, RS232, RS422, RS485 Centronics). Кабели 2-го класса монтируют в цифровых цепях на входе (выходе) устройств

коммутации соответствующих марок: одиночные проводники, плоские, многопроводные и экранированные кабели. Если при монтаже фильтров используются одиночные проводники свитые вместе, в одной связке с фазовыми и нейтральными проводами нагрузки, то их внешние цепи так же можно отнести к данному классу. Установка фильтров питания должны соответствовать нормативам по всему диапазону помех.

3. Кабели класса 3 – для цепей с низкой помехоэмиссией. Кабели данного класса используются во внешних цепях питания \approx тока (не более 230/415 В) или мощных цепей - тока, которые не рекомендуется использовать для питания оборудования с помехами (электродвигатели, сварочные аппараты, преобразователи мощности и т.п.). Внешнее оборудование может быть представлено К источникам помех, если параметры помехоэмиссии не известны, может быть отнесено внешнее оборудование в соответствии с требованиями нормативных документов ЭМС.

Кабели класса 3 монтируются в цепи управления с рактивными и активными нагрузками. В них вся индуктивная нагрузка монтируется с ограничителями, согласно требованиям производителям.

Кабели асинхронных двигателей относятся к классу 3, При управлении синусоидальным током асинхронных электродвигателей с установленными фильтрами на выходе системы управления используются кабели класса 3. Для питающих и сигнальных кабелей класса 3 применяются многопроводные и экранированные кабели или одиночные провода. Монтаж кабеля при разделке осуществляется с использованием резьбовых соединений при его длине менее 30 мм от экрана кабеля.

4. Кабели класса 4 – для цепей с большой помехоэмиссией. Используются кабели 4 класса для источников постоянного тока входных и выходных цепей - сварочные аппараты, сервомоторы, шаговые двигатели и подобное оборудование с повышенной помехоэмиссией.

Если входы/выходы кабеля не снабжены фильтрами, то всегда следует согласовывать, предусмотрены ли в рекомендациях и технических требованиях специальные кабели, пути их прокладки или др. требования, например, применение ферритовых элементов или фильтров, и неукоснительно следовать им.

Кабели 4 класса обязательно должны снабжаться высококачественными экранирующими оплетками, соединенными с экраном аппаратуры. Запрещается использовать для кабелей класса 4 соединение экрана вида «косичка».

Проводники данного класса кабеля выполняются в виде витых пар, троек, четверок или должны быть свиты согласно требованиям все обратные и сигнальные проводники, относящиеся к одной нагрузке или сигналу. Для окончного подсоединения экрана Также можно использовать для конечного присоединения экрана резьбовые соединения, при длине проводника без

оплетки, не более 30 мм, но многие производители требуют выполнение более жестких условий, что всегда следует проверять.

Моторы, конвертеры мощности, оборудование сварки (низковольтные ИП) также используют экранированные кабели 4 класса. При возможности силовые неэкранированные кабели 4 класса рекомендуется размещать поблизости от заземляющих проводников.

Кабели классов 5 и 6 применяются $U > 0,4/0,22$ кВ - и \approx тока. По требованиям Международной электротехнической комиссии они подразделяются на средневольтные (СВ-5 класс) и высоковольтные (ВВ-6 класс). Как недостаток отмечается, что СВ- и ВВ-кабели подвержены внешним воздействиям: разрядам молний, мощным переходным процессам и коротким импульсам, которые наводятся благодаря наличию мощных коммутационных устройств. Специальная укладка этих проводников в одиночный кабель или связку кабелей помогает создать условия, при которых они не создают нежелательные возмущения.

При прокладке кабельных трасс необходимо разделять кабели по требуемым классам для снижения влияния кабелей одного параметра на другой. Также учитывается расстояния между кабельными линиями размер которых, при параллельной их прокладке, должен быть < 25 мм от заземляющих проводников с их длиной < 30 м.

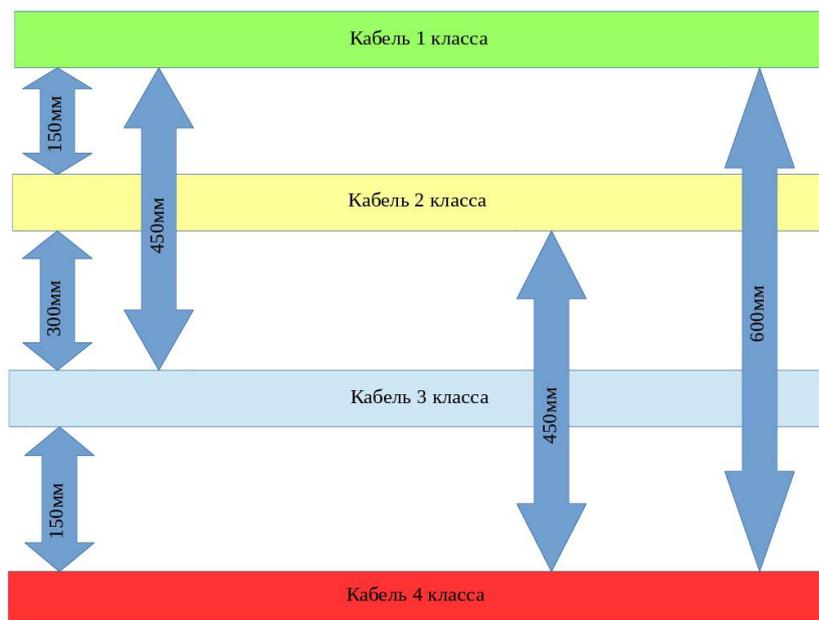


Рисунок 8.2 - Минимальные расстояния между кабелями различных классов

Первоначально проводится трассировка кабелей низковольтных сетей, рассчитывается значение наведенных в них напряжений при грозе отдельно для каждой трассы кабелей. При ударе молнии за расчетное выбирается место ближайшее к трассе. В случае, когда площадь удара молнии характеризуется

большой площадью, то это точка удара молнии или несколько таких точек принимаются в качестве места расчета.

В контрольных и измерительных цепях ТТ и ТН требуется монтировать специальные кабели с оболочкой из металла и брони. Возможно в данных условиях использовать неэкранированные кабели при понижении уровней помех до требуемых нормативных значений при условии выбора необходимой кабельной трассы, монтажа вдоль линии кабеля экранирующих проводников и использованием различных организационных и технических защитных мероприятий. Согласно ГОСТа кабели силовых линий рекомендуется прокладывать по разным трассам с кабелями вторичных, контрольных и сигнализационных цепей. В случае прокладки кабелей по одной трассе нормируется расстояние между ними в свету: 0,45 м - для кабелей с $U=220$ В; 0,6 м - для кабелей с $U=380$ В; 1,2 м - для кабелей $U=6-10$ кВ.

Не допускается объединять цепи в кабелях измерительных цепей трансформаторов тока и напряжения, цепей управления с цепями измерения и сигнализации, цепей управления, измерения и сигнализации с силовыми цепями переменного тока $U=0,4/0,23$ кВ.

Трассы таких кабелей прокладываются на расстоянии ≥ 10 м в свету от основания фундаментов (стоек) с разрядниками и молниеотводами. В экстренных ситуациях рекомендуется уменьшать это расстояние до 5 м, но между фундаментом (стойкой) и кабелями может прокладываться продольный заземлитель длиной ≥ 15 м на расстоянии 0,5 м от кабельной трассы симметрично относительно фундамента (стойки) и соединяться с ЗУ по концам и в точках соединения с другими горизонтальными заземлителями.

Кабели цепей управления, измерения и сигнализации с оболочкой из металла требуется заземлять в открытых распределительных устройствах (ОРУ) или распределительных щитах (РЩ) в месте их ввода в здание или ОПУ, и обязательно в местах концевой разделки кабелей и в промежуточных точках с шагом 5-10 м.

При их заземлении рекомендуется выполнить проверку на термическую стойкость при к.з в сети $U=110$ кВ и выше. Экраны из фольги заземляют обычно в местах концевой разделки кабелей. Для цепей машинного обмена, проходящих по территории ОРУ, должны применяться только экранированные симметричные кабели. Стандарты не рекомендуют объединять в одном кабеле цепи различных классов по виду передаваемой информации и уровню испытательного. Трассы кабелей межмашинного обмена должны проходить на расстоянии не менее 10 м от фундаментов (стоек) с молниеприемниками и оборудованием $U \geq 110$ кВ и выше. Кабели цепей межмашинного обмена монтируют на возможно большем расстоянии от силовых кабелей с цепями управления, на основании проведенных расчетов.

Для снижения воздействия на линии передачи информации при выполнении кабельных связей рекомендуется выполнять скручивание пары проводов - прямого и обратного, т.к. нельзя при многих сигналах применять общий обратный провод.

Линии передачи информации рекомендуется монтировать в ферромагнитных (стальных) трубах или шлангах или располагать на большом расстоянии (≥ 100 м) от участков, на которых возможно появление сильных ЭМП.

9 СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Национальные системы стандартов создают основу для воплощения принципов электромагнитной безопасности. Обычно системы стандартов (СС) закладывают в себя нормативы, определяющие уровни ЭП - электрических полей, МП - магнитных полей и ЭМП - электромагнитных полей нескольких частотных диапазонов при введении ПДУ - предельно допустимых уровней для разных категорий и разных условий облучения.

В РФ СС - система стандартов по ЭМБ определяется из ГОСТов-Государственных стандартов и СП -Санитарных правил. Это обязательные и взаимосвязанные документы для исполнения на всей территории России.

Стандарты по ЭМБ входят в группу ССБТ - Системы стандартов безопасности труда - группы стандартов, включающих требования, нормы и правила, принятые на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. Стандарты по ЭМБ соответствуют наиболее общим документам и включают:

- требования по типам соответствующих опасных и вредных показателей;
- предельно допустимые величины параметров и характеристик;
- методы контроля нормируемых параметров;
- методы защиты работающих от опасных и вредных факторов.

Государственный комитет по стандартизации в России реализует ввод в действие и контроль за соблюдением ГОСТов через систему специальных уполномоченных лабораторий.

Санитарные правила и нормы (СанПиН) указывают гигиенические требования к отдельным классам и видам продукции. По своей структуре включают те же пункты, что и ГОСТы.

К наиболее важным Санитарным правилам и нормам относятся:

1. СанПиН 2.2.4.723-98. Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях.
2. СанПиН №2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.
3. ГН 2.1.8/2.2.4.019-94. Временно допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи.
4. ГОСТ 12.1.044-84. Электростатические поля. Предельно допустимые уровни.

Ввод в действие и контроль за соблюдением Санитарных правил осуществляет Департамент санитарно-эпидемиологического надзора Минздрава России.

В зависимости по отношению подвергающегося воздействию ЭМП человека к источнику излучения в условиях производства, в стандартах России различаются два вида воздействия:

- профессиональное,
- непрофессиональное.

Для условий профессионального воздействия характерно многообразие режимов генерации и вариантов воздействия. В частности, для облучения в ближней зоне обычно характерно сочетание общего и местного облучения. Для непрофессионального облучения типичным является общее облучение. ПДУ для профессионального и непрофессионального воздействия различны.

В зависимости от места нахождения человека относительно источника ЭМП он может подвергаться воздействию электрической или магнитной составляющей поля или их сочетанию, а в случае пребывания в волновой зоне - воздействию сформированной электромагнитной волны. По этому признаку определяется необходимый критерий контроля безопасности.

В качестве основных нормируемых параметров электромагнитной безопасности человека, как правило, принимаются: наведённые в теле человека ток I , мА, и плотность этого тока J , А/м², удельная поглощаемая мощность, SAR, Вт/кг, удельная поглощённая энергия, SA, мДж/кг, а также напряжённости переменных ЭП и МП и плотность потока энергии.

В требованиях стандартов по проведению контроля записано, что контроль уровня ЭП осуществляется по значению напряжённости ЭП - E , В/м. Контроль уровней МП осуществляется по значению напряженности МП - H , А/м, или значению магнитной индукции B , Тл.

Энергетическим показателем для волновой зоны является плотность потока энергии (ППЭ) - энергия, проходящая через 1 см² поверхности, перпендикулярной к направлению распространения ЭМВ за 1 секунду. Единица измерения ППЭ - Вт/м².

Основные принципы системы стандартов в России отличны от принципов других национальных систем. Отличие заключается как в организационно-правовом статусе, так и в принципах определения ПДУ. В стандартах России основной критерий определения уровня воздействия ЭМП как предельно допустимого - воздействие не должно вызывать у человека даже временного нарушения гомеостаза, а также напряжения защитных и адапционно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени.

Это означает, что в качестве ПДУ принимается дробная величина от минимального уровня ЭМП, способного вызвать какую-либо реакцию. В остальных стандартах при определении безопасного уровня исходят из значений напряженности ЭМП, при превышении уровня которого возникают доказуемо опасные последствия воздействия. Уменьшением этого уровня на коэффициент запаса, который различается для профессионалов и населения, определяют ПДУ.

На сегодняшний день в нашей стране нет утверждённых гигиенических регламентов для магнитного поля промышленной частоты в бытовых условиях.

Мировое сообщество проводит громадную работу по защите окружающей среды. Например, только в ЕС принято более 90 директив в области экологии. Они касаются генеральной политики ЕС по

охране окружающей среды, качества воды, качества воздуха, промышленных рисков и биотехнологии, отходов, шумов.

Директивы по генеральной политике ЕС направлены на методы оценки стоимости контроля за загрязнением в промышленности; оценку степени влияния некоторых государственных и частных проектов на окружающую среду; создание Европейского агентства по охране окружающей среды, сети контроля и обеспечения информацией и др. Директивы в отношении воды охватывают проблемы защиты рек, морей и других водоемов; вопросы качества питьевой воды; сброса в водоемы отходов некоторых опасных веществ; качества пресной воды, нуждающейся в охране в целях поддержания жизни рыб и разведения ракообразных, и др. Директивы по защите воздуха и промышленным рискам устанавливают ограничения применения некоторых опасных веществ и препаратов; перечень веществ, подпадающих под директиву "О классификации, упаковке и маркировке опасных веществ"; обязательные требования к экспорту и импорту опасных химикатов; нормы по содержанию в воздухе некоторых конкретных веществ (асбеста, двуокиси азота, свинца, двуокиси серы и др.). Директивы, относящиеся к проблемам отходов, определяют требования по очистке сточных вод в городских условиях; по защите воздушной среды от загрязнений, выделяемых установками для сжигания мусора; по надзору и контролю за перевозкой опасных отходов; по удалению отработанного масла и другие нормы по конкретным объектам. В то же время создана и общая Стратегия ЕС по ликвидации отходов. Директивы по ограничению шумов нормируют уровень шума, создаваемого различным оборудованием, промышленными установками, бытовыми приборами, а также самолетами, автомобилями, мотоциклами.

В ЕС введена экомаркировка специальным знаком в целях достоверного информирования потребителей об экологичности приобретаемого продукта и стимулирования изготовителей к соблюдению норм и требований по охране. Экознак не распространяется на пищевые продукты, напитки и лекарственные препараты. Им маркируют товары, которые содержат вещества и препараты, отнесенные директивами к опасным, но в допустимых пределах. Цвет знака может быть зеленым, голубым, черным на белом фоне, белым на черном фоне.

Для получения права использовать экознак изготовитель должен представить продукт для оценки его экологичности, чем обычно занимаются органы по сертификации, с которыми соискатель может заключить контракт по каждому виду продукции отдельно. Экознак активно используется в рекламе и способствует продвижению товара на рынок, положительно влияя на конкурентные позиции продавца (изготовителя).

Приведенная далеко не полная информация только по одному региону Земли иллюстрирует масштаб уже давно назревшей проблемы, в решении которой не последняя роль отводится стандартизации.

Один из важных аспектов экологической стандартизации - утилизация отходов производства и потребления.

Специалисты подсчитали, что человечество за всю историю своего существования сумело довести использование по назначению исходного сырья в лучшем случае до 5%. Около 20% уходит на промышленные выбросы (сбросы) и более 70% - другие отходы.

В России более миллиона гектаров земли занято под 70 млрд. т отходов, которые накопились к настоящему времени. Если учесть ежегодное увеличение токсичных отходов примерно на 50 млн. т, а также ожидаемый привоз на территорию РФ отходов из ЕС в счет погашения кредитов, то картина получается достаточно мрачной.

В промышленно развитых странах существуют государственные программы, основанные на директивах (т.е. законах прямого действия), национальных стандартах, содержащих жесткие нормы по классификации отходов (особенно категории опасных); стандартах по обезвреживанию, уничтожению, захоронению и конкретным мерам переработки отходов. Законодательные положения устанавливают и юридическую ответственность производителя отходов за безопасность работы с ними.

Утилизация отходов производства - заключительная составляющая петли качества в управлении качеством на предприятии (см. гл. 6). Но нормативные требования к ней разрабатываются и контролируются на допроизводственной стадии жизненного цикла продукции. Например, в США в соответствии с действующим законодательством каждый изготовитель обязан пройти экологическую экспертизу по выявлению природы тех отходов, которые будут образовываться при производстве нового товара. Если предполагаются опасные отходы (а это устанавливается стандартами и законами прямого действия), то изготовитель продукта регистрируется в Агентстве по защите окружающей среды. Образующиеся производственные отходы далее будут отслеживаться и контролироваться для выявления их фактического соответствия требованиям стандартов не только по составу, но и по пригодности для транспортировки и переработки.

Важную роль в экостандартизации играют международные стандарты по охране окружающей среды. Большую работу в этом направлении проводит ИСО, разработавшая международные стандарты серии 14000, которые при внедрении в национальные системы экологической стандартизации во многом устраняют проблемы, связанные с гармонизацией методов защиты окружающей среды.

В России подготовлен проект государственного стандарта "Системы управления качеством окружающей среды. Общие требования и рекомендации по использованию". Стандарт представляет собой аутентичный текст международного стандарта ИСО 14001. Область применения стандарта - те аспекты охраны окружающей среды или экологические системы деятельности организации, которые можно контролировать и влияние на которые нужно оказывать (но это не означает установление государством конкретных параметров окружающей среды). Стандарт может использовать любая

организация, которая преследует цели: удостовериться в соответствии своей деятельности государственной политике по охране окружающей среды; провести сертификацию системы; провести самооценку и сделать заявление-декларацию о соответствии системы настоящему стандарту.

Для защиты людей от вредного влияния ЭМП применяются нормативы и стандарты, которые представляют собой некий компромисс между преимуществами применения новых технологий и новой техники и возможным риском, причиненным этим применением.

К нормативно-техническим (гигиеническим) документам в области электромагнитной безопасности населения (в странах СНГ) относятся системы стандартов, которые складываются из Государственных Стандартов и санитарных правил и норм (СанПиН) и являются обязательными для исполнения.

В частности, действует стандарт «Система безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты (50 Гц). Допустимые уровни напряженности и требования к правилам контроля на рабочих местах.

ГОСТ 12.1002 84» и Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях. Межгосударственные санитарные правила и нормы. МСанПиН 001 - 96 (СНГ) п.п.4.5 - 4.11. Допустимые уровни неионизирующих излучений различных видов и диапазонов частот и т.д. Основным содержанием указанных ГОСТ и СанПиН является наличие в них данных о предельно допустимых уровнях ЭМП различных источников, гарантирующих электромагнитную безопасность населения.

В основе установления предельно допустимых уровней (ПДУ) лежит принцип пороговости вредного воздействия ЭМП на человека. В качестве ПДУ ЭМП предусмотрены такие уровни, которые при систематическом облучении в рабочем режиме для данного конкретного источника ЭМП не вызывают у людей (без ограничения пола и возраста) заболеваний и отклонений в состоянии здоровья. Однако важным является не только величина напряженности ЭМП, но и продолжительность нахождения человека в зоне действия этого поля. При напряженности ЭМП 5 кВ/м производство работ не ограничивается как по характеру, так и по длительности выполнения. При напряженности более 25 кВ/м, а также, если требуется большая продолжительность пребывания человека в ЭМП, чем приведено выше, работы должны выполняться с применением средств защиты, например специальной одежды, ткань которой обладает свойствами экрана. В качестве тканей используются ткани с проводящей краской, ткани, содержащие волокна из гибкой медной проволоки, ткани с нитями из проводящего полимера и т.д. В качестве предупредительных мер предусматривается осуществление постоянного контроля электромагнитной обстановки путем проведения электромагнитного мониторинга, а также прогнозирования развития в целом для предприятия или организации электромагнитной обстановки [3].

Под санитарно-защитной зоной понимается так называемая охранный зона, имеющая условное направление вдоль воздушной линии электропередачи и отсчитываемая от проекции крайних проводов ЛЭП по земле. Следует заметить, что регламентация размеров санитарно-защитной зоны ЛЭП осуществляется при классе напряжения ЛЭП 330 кВ и выше по электрической составляющей. Однако по магнитной составляющей электромагнитного поля ЛЭП, более опасной, чем электрическая составляющая, размеры санитарно-защитной зоны предположительно могут составлять 200...400 м. Исследования по установлению окончательных размеров охранной зоны по магнитной составляющей следует продолжить.

В соответствии с рекомендациями по электромагнитной безопасности населения при нахождении его в зонах воздействия электромагнитного поля в пределах санитарно-защитных зон ЛЭП запрещается: размещать жилые здания; предусматривать стоянки и остановки всех видов транспорта; устраивать любые спортивные и игровые площадки; собирать грибы, любые плоды, ягоды и особенно лекарственные растения.

Для контроля за электромагнитной ситуацией в жилых домах или в офисных помещениях, где находится человек, используются приборы, состоящие из регистратора интенсивности ЭМП (переменного и электростатического) типа РИЭП - 50/20 и регистратора интенсивности магнитного поля РИМП 50/2,4, дающие световой и звуковой сигналы при превышении ПДУ для данного источника.

Предусматривается также защита людей от воздействия ЭМП так называемым методом расстояний от источников ЭМП, т.е. санитарно-защитной зоны, размеры которой зависят от напряженности источника (табл. 4). Что касается методов защиты человека в жилых помещениях, то на этот счет можно дать некоторые практические рекомендации. Поскольку в собственной квартире полностью избавиться от бытовых электроприборов практически невозможно, желательно соблюдать следующие правила: не устанавливать над кроватью средства освещения (бра, светильники с плафонами), светопоток от которых обращен вниз, на Вас, свет должен быть направлен только вверх; не ставить у изголовья электронные часы (будильник); отключать от сети на ночь телевизор, музыкальный центр, DVD-проигрыватель и прочие источники электромагнитного излучения, которые могут находиться в дежурном режиме и т.д. отказаться по возможности от систематического использования электрических бритв; применять утюги с бифилярной обмоткой нагревательных спиралей (такая обмотка не обладает индуктивностью).

10 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

10.1 Перечень вопросов к экзамену (зачету)

1. Возникновение помех в электроэнергетических системах.

1.1. Обзор случаев аварий и ущерба из-за нарушения ЭМС. Основные термины и определения. Задачи ЭМС, ЭМО, ЭМЭ.

1.2. Возникновение помех в промышленных ЭЭС. Прогнозирование параметров импульсных помех при включении, отключении нагрузок, аварийных замыканиях, разрядах молнии. Особенности возникновения помех в трехфазной сети, вероятностные характеристики амплитуды импульсных помех.

1.3. Искажения синусоидальности напряжения и тока в ЭЭС с мощными полупроводниковыми преобразователями. Определение гармоник в судовой сети. Методы измерений и расчета.

2. - Пути распространение помех.

2.1. Пути распространение помех. Обзор электромагнитных взаимодействий оборудования.

2.2. Распространение помех через трансформаторы, фильтры, вторичные источники питания.

2.3. Распространение помех в кабельной трассе. Наведенные напряжения. Электрическая, магнитная связь симметричных и несимметричных цепей в трассе. Неэкранированные и экранированные кабели.

3. - Восприимчивость технического оборудования к помехам.

Восприимчивость оборудования к помехам. Свойства компонентов. Пути воздействия помех. Уровни помехоустойчивости.

4. - Методы и средства подавление электромагнитных помех.

4.1. Методы и средства подавления кондуктивных помех в источнике при коммутациях, работе полупроводниковых преобразователей.

4.2. Снижение напряженности электромагнитных полей.

5. - Защита технических средств.

5.1. Защита электронного оборудования по цепям питания. Трансформаторы, фильтры, заземление. Проектирование цепей питания. Свойства конденсаторов и катушек индуктивности на высокой частоте.

5.2. Помехозащита цепей передачи информации. Симметрирование, гальваническая развязка. Специальные схемные решения. Выбор и прокладка кабелей. Разделка кабелей. Правильное заземление оплетки.

5.3. Защита технических средств от электромагнитных полей и электростатического разряда. Конструкция корпуса. Экранирование электрических, магнитных полей.

6. - Измерения в области ЭМС, ЭМО, ЭМЭ.

6.1. Методы и средства измерения кондуктивных помех. Узкополосные и широкополосные измерители. Техника безопасности при измерениях. Делители, фильтры, токосъемники, эквиваленты сети. Измерение помеховой обстановки. Измерения при сертификации продукции.

6.2. Методы и средства измерения напряженности полей.

Измерительные антенны. Датчики поля. Измерители радиопомех. Методики проведения измерений.

7. - Испытания технических средств.

7.1. Имитаторы кондуктивных помех и электромагнитных полей. Современные средства испытаний.

7.2. Методики испытаний на помехоустойчивость. Электростатический разряд. Импульсные помехи. Провалы напряжения. Гармоники. Напряжения радиопомех. Электромагнитное поле. Магнитное поле. Опыт испытаний.

8. - Стандартизация и сертификация в области ЭМС.

8.1. Сертификация продукции по электромагнитной совместимости. Сертификация в Европе и России.

8.2. Обзор существующих стандартов по ЭМС. Европейские нормы. Основополагающие международные документы. Базовые стандарты на помехоустойчивость. Стандарты общего вида, на семейства продукции и на виды продукции. Требования к судовому оборудованию.

10.2 Тесты

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ (ЭКОЛОГИЯ) ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Наименование понятия	Варианты ответа	Ответ
----------------------	-----------------	-------

Раздел 1. Проблема электромагнитной совместимости (ЭМС, ЭМО, ЭМЭ) электротехнического и электронного оборудования

Тема 1.1. Общие понятия по проблеме ЭМС, ЭМО, ЭМЭ

Понятие 1.1.1. Электромагнитная совместимость оборудования	а) Совместимость по напряжению питания б) Совместимость по частоте питающего тока в) Отсутствие взаимного влияния оборудования г) Нормальная работа при помехах д) Совместимость по числу фаз сети	
Понятие 1.1.2. Техническое средство	а) Оборудование, использующее ЭМ явления б) Оборудование для технических нужд в) Оборудование промышленного назначения г) Любое механическое оборудование д) Только радиооборудование	
Понятие 1.1.3. Электромагнитная помеха	а) Особый вид электромагнитного поля б) Нарушение нормальной работы оборудования в) Только электромагнитное поле г) Только напряжение и ток д) Любое электромагнитное явление, нарушающее работу оборудования	
Понятие 1.1.4. Рецептор помех	а) Синхронный генератор б) Асинхронный двигатель в) Любое оборудование, восприимчивое к помехам г) Особая антенна д) Специальный измеритель помех	

Тема 1.2. Терминология и описание электромагнитных помех

Понятие 1.2.1. Классификация помех по проявлению во времени.	а) Симметричные и несимметричные б) Импульсные и непрерывные в) Синусоидальные и несинусоидальные г) Блокирующие и интермодуляционные д) Узкополосные и широкополосные	
Понятие 1.2.2. Симметричная помеха	а) Симметричная относительно оси времени б) Действующая между проводниками в) Симметричная по форме г) Синусоидальная д) Гармоническая	
Понятие 1.2.3. Несимметричная помеха	а) Несимметричная относительно оси времени б) Действующая на проводниках относительно земли в) Несимметричная по форме г) Несинусоидальная д) Аперриодическая	
Понятие 1.2.4. Параметры импульсных помех	а) Амплитуда и частота б) Амплитуда и фаза в) Амплитуда, длительность, фронт	

Тема 1.3. Общие вопросы обеспечения электромагнитной совместимости

Понятие 1.3.1. Условия обеспечения ЭМС	а) Уровень помех выше уровня помехоустойчивости б) Уровень помех ниже уровня помехоустойчивости в) Соответствие оборудования стандартам по электробезопасности г) Использование общей сети электропитания д) Применение специальных кабелей	
Понятие 1.3.2. Цель применения средств <u>помехозащиты</u>	а) Повышение помехозащищенности б) Повышение восприимчивости в) Подавление помех в источнике г) Снижение частоты помех д) Уменьшение длительности фронта помех	
Понятие 1.3.3. Цель применения средств подавления помех.	а) Уменьшение длительности фронта помех б) Увеличение частоты помех в) Снижение уровня создаваемых помех г) Повышение помехоустойчивости оборудования д) Преобразование несимметричных помех в симметричные	
Понятие 1.3.4. Наиболее эффективный этап для обеспечения ЭМС в процессе создания нового оборудования	а) Монтаж оборудования на предприятии б) Изготовление опытного образца в) Эскизное проектирование г) Разработка технического задания д) Изготовление опытного образца	

Раздел 2. Возникновение помех в электроэнергетических системах

Тема 2.1. Основные источники помех на предприятии

Понятие 2.1.1. Виды помех, создаваемых полупроводниковым преобразователем.	а) Импульсные б) Гармоники питающего напряжения в) Электростатические г) Интермодуляционные д) Блокирующие	
Понятие 2.1.2. Виды помех, создаваемых коммутациями в сети	а) Импульсные б) Узкополосные в) Непрерывные г) Станционные д) Синусоидальные	
Понятие 2.1.3. Виды помех, в основном создаваемых радиооборудованием	а) Гармоники питающего напряжения б) Узкополосные в) Сверхширокополосные г) Шумовые д) Электростатические	
Понятие 2.1.4. Виды помех, создаваемых разрядами молнии	а) Импульсные б) Атмосферные в) Шумовые г) Узкополосные д) Непрерывные	

Тема 2.2. Работа полупроводниковых преобразователей электроэнергии

<p>Понятие 2.2.1. Причина возникновения помех при работе полупроводникового выпрямителя.</p>	<p>а) Малая скорость переключения тиристоров б) RC-цепи в схеме выпрямителя в) Наличие индуктивности в цепи нагрузки г) Малый угол управления д) Коммутация тиристоров</p>	
<p>Понятие 2.2.2. Параметры, которые определяют амплитуду импульсных помех при работе <u>тиристорного</u> выпрямителя</p>	<p>а) Угол управления б) Мощность источников электроэнергии в) Частота тока в сети г) Фаза напряжения в сети д) Магнитное поле</p>	
<p>Понятие 2.2.3. Значение максимально возможной амплитуды импульсной помехи при работе <u>тиристорного</u> выпрямителя</p> $U_{и} = E_m \sin(\alpha + \gamma) \frac{X_c}{X_c + X_{п}}$	<p>а) $0,25E_m$ б) $0,5E_m$ в) $0,867E_m$ г) E_m д) $2E_m$</p>	
<p>Понятие 2.2.4. Значение коэффициента <u>несинусоидальности</u> напряжения в питающей сети в случае идеальной синусоидальной формы напряжения.</p>	<p>а) 0 б) 0,142 в) 0,5 г) 0,867 д) 1</p>	
<p>Понятие 2.2.5. Изменение максимальной частоты спектра напряжения помех при уменьшении длительности фронта импульсной помехи в 2 раза.</p>	<p>а) Увеличится в 2 раза б) Не изменится в) Уменьшится в 2 раза г) Увеличится в 4 раза д) Уменьшится в 4 раза</p>	

Тема 2.3. Коммутация резистивных нагрузок и емкостных цепей

<p>Понятие 2.3.1. Значение максимально возможной амплитуды импульсной помехи при включении резистивной нагрузки в сети 220 В. Формула расчета амплитуды</p> $U_{и} = \frac{R}{R + R_{н}} e $	<p>а) 100 В б) 220 В в) 310 В г) 380 В д) 540 В</p>	
<p>Понятие 2.3.2. Значение максимально возможной амплитуды импульсной помехи при включении заряженного конденсатора в сети 220 В. Формула расчета амплитуды</p> $U_{и} = e - U_{сн} $	<p>а) 100 В б) 220 В в) 310 В г) 380 В д) 620 В</p>	
<p>Понятие 2.3.3. Изменение</p>	<p>а) Увеличится в 2 раза</p>	

Понятие 2.3.3. Изменение периода колебаний напряжения в сети при увеличении емкости включаемого конденсатора в 4 раза.	а) Увеличится в 2 раза б) Уменьшится в 2 раза в) Увеличится в 4 раза г) Уменьшится в 4 раза д) Не изменится	
Понятие 2.3.4. Значение напряжения в сети в момент включения заряженного до +300 В конденсатора, при котором импульсная помеха не возникает.	а) 220 В б) 380 В в) -300В г) +300 В д) 0 В	

Тема 2.4. Выключение индуктивных цепей

Понятие 2.4.1. Главный фактор, определяющий максимальную амплитуду напряжения на индуктивной нагрузке при отключении ее обычным выключателем и отсутствии средств помехоподавления.	а) Индуктивность б) Конструкция выключателя в) Сечение провода, которым намотана катушка г) Размеры катушки д) Активное сопротивление катушки	
Понятие 2.4.2. Условие полного отсутствия импульсных помех при отключении индуктивной нагрузки.	а) Индуктивность катушки много больше индуктивности сети б) Емкость катушки равна емкости сети в) Применение RC-цепи г) Ток катушки равен нулю в момент отключения д) Применение варистора	
Понятие 2.4.3. Причина снижения перенапряжения на индуктивной нагрузке при отключении ее обычным выключателем по сравнению с теоретическим случаем отключения идеальным выключателем:	а) Увеличение емкости катушки б) Рассеивание энергии на зажигание дуги в) Увеличение сопротивления цепи г) Меньшее сопротивление контактов д) Большее сопротивление контактов	
Понятие 2.4.4. Главный элемент-источник энергии, создающий перенапряжение на индуктивной нагрузке после ее отключения.	а) Генератор в сети питания б) Емкость катушки в) Индуктивность катушка индуктивности г) Активное сопротивление катушки д) Электрическая дуга	

Тема 2.5. Работа отдельных видов технических средств

Понятие 2.5.1. Основной источник узкополосных помех.	а) Катушки индуктивности б) Включение нагрузок в) Выключение нагрузок г) Радиотехническое оборудование д) Конденсаторы	
Понятие 2.5.2. Причина возникновения помех при работе машин постоянного тока.	а) Коммутация обмоток ротора коллектором б) Индуктивность обмотки возбуждения в) Конденсаторы, установленные в цепи питания г) Малое активное сопротивление обмоток д) Трение пластин коллектора о щетки	
Понятие 2.5.3. Главный источник импульсных помех в люминесцентных светильниках	а) Образование плазмы в лампе б) Коммутация дросселя при зажигании лампы в) Наличие конденсатора г) Свечение люминофора д) Протекание тока через ионизированный газ	

Тема 2.6. Электростатический разряд

Понятие 2.6.1. Причина возникновения статического электричества, приводящего к электростатическим разрядам.	а) Разряд молнии б) Космические лучи в) Солнечная радиация г) Трение разнородных изоляционных материалов д) Электромагнитное поле	
Понятие 2.6.2. Основной объект, создающий электростатический разряд на технические средства.	а) Любой металлический объект б) Электроинструмент в) Человек г) Радиооборудование д) Полупроводниковые преобразователи	
Понятие 2.6.3. Максимально возможное напряжение электростатического разряда в сухом помещении.	а) 10 В б) 100 В в) 1000 В г) 10000 В д) 100000 В	
Понятие 2.6.4. Длительность тока электростатического разряда с человека на технические средства.	а) 1-10 <u>нс</u> б) 10-100 <u>нс</u> в) 0,1-1 <u>мкс</u> г) 1-10 <u>мкс</u> д) 10-100 <u>мкс</u>	

Тема 2.7. Процессы, создающие мощные электромагнитные воздействия

Понятие 2.7.1. Наиболее вероятная <u>амплитуда</u> тока молнии.	а) 10-100 А б) 100-1000А в) 1000-10000А г) 10000-100000А д) более 1000000А	
Понятие 2.7.2. Стандартная длительность тока молнии.	а) 50 <u>нс</u> б) 50 <u>мкс</u> в) 5 <u>мс</u>	

Тема 2.7. Процессы, создающие мощные электромагнитные воздействия

Понятие 2.7.1. Наиболее вероятная <u>амплитуда</u> тока молнии.	а) 10-100 А б) 100-1000А в) 1000-10000А г) 10000-100000А д) более 1000000А	
Понятие 2.7.2. Стандартная длительность тока молнии.	а) 50 <u>нс</u> б) 50 <u>мкс</u> в) 5 <u>мс</u> г) 50 <u>мс</u> д) 500мс	
Понятие 2.7.3. Вид коммутации, создающий наибольшие несимметричные импульсные помехи в судовой электрической сети.	а) Включение асинхронных <u>двигателей</u> б) Включение осветительного оборудования в) Выключение конденсаторов г) Дуговое однофазное замыкание на корпус д) Включение <u>тиристорного</u> выпрямителя	
Понятие 2.7.4. Процесс, создающий высокую напряженность импульсного электрического поля на наибольшей по площади территории.	а) Работа ТВ радиопередатчика б) Разряд молнии в) Подземный ядерный взрыв г) Высотный ядерный взрыв д) Работа радиопередатчиков спутников	

Раздел 3. Распространение помех в электроэнергетической системе

Тема 3.1. Распространение помех по кабельной сети

Понятие 3.1.1. Главный фактор, определяющий скорость распространения волны напряжения по кабелю.	а) Длина кабеля б) Сопротивление проводников (жил) в) Расстояние между проводниками (жилами) г) Материал диэлектрика д) Диаметр проводников (жил)	
Понятие 3.1.2. Факторы, от которых в основном зависит волновое сопротивление кабеля.	а) Длина кабеля б) Сопротивление проводников (жил) в) Расстояние между проводниками (жилами) г) Материал диэлектрика д) Диаметр проводников (жил)	
Понятие 3.1.3. Значение напряжения на нагрузке R_H при падении на нее по кабелю с волновым <u>сопротивлением</u> $Z \ll R_H$ волны напряжения амплитудой 1000 В.	а) 100 В б) 500 В в) 1000 В г) 2000 В д) 4000 В	
Понятие 3.1.4. Влияние конденсатора на конце кабеля на параметры падающей по кабелю на нагрузку импульсной помехи	а) Увеличивает амплитуду б) Увеличивает длительность фронта в) Уменьшает длительность фронта г) Не влияет на параметры д) Полностью подавляет помеху	

Тема 3.2. Распространение помех через элементы ЭЭС

Понятие 3.2.1. Определение вносимого затухания фильтра.	а) Отношение выходного к входному напряжению б) Отношение напряжения на нагрузке при отсутствии фильтра к напряжению с фильтром в) Отношение входного напряжения к току г) Отношение входного к выходному току д) Отношение входного сопротивления к выходному сопротивлению	
Понятие 3.2.2. Условия увеличения вносимого затухания индуктивного фильтра	а) Уменьшение индуктивности б) Увеличение индуктивности в) Увеличение сопротивления нагрузки г) Уменьшение сопротивления нагрузки д) Увеличение сопротивления источника помех	
Понятие 3.2.3. Недостатки обычных сетевых LC-фильтров	а) Увеличение выходного напряжения на резонансной частоте б) Уменьшение выходного напряжения на резонансной частоте в) Неэффективность при высоком сопротивлении источника помех г) Неэффективность при высоком сопротивлении нагрузки д) Создание гармоник	
Понятие 3.2.4. Факторы, определяющие распространение симметричных помех через трансформатор	а) Коэффициент трансформации б) Индуктивность рассеяния в) Межобмоточная емкость г) Емкость вторичной обмотки на корпус д) Наличие заземленного экрана между обмотками	
Понятие 3.2.5. Факторы, определяющие распространения несимметричных помех через трансформатор	а) Коэффициент трансформации б) Индуктивность рассеяния в) Межобмоточная емкость г) Емкость вторичной обмотки на корпус д) Наличие заземленного экрана между обмотками	

Тема 3.3. Распространение помех излучением.

Понятие 3.3.1. Скорость распространения электромагнитного поля в воздухе	а) 1 м/мкс б) 10 м/мкс в) 30 м/мкс г) 300 м/мкс д) 3000 м/мкс	
Понятие 3.3.2. Объекты, создающие в основном магнитное поле в ближней зоне	а) Дроссель б) Проводник под напряжением над землей в) Рамочная антенна г) Обмотка электрической машины д) Штыревая антенна	
Понятие 3.3.3. Объекты, создающие в основном электрическое поле в ближней зоне	а) Дроссель б) Проводник под напряжением над землей в) Рамочная антенна г) Обмотка электрической машины д) Штыревая антенна	
Понятие 3.3.4. Факторы, увеличивающие эффективность экранирования электрического поля.	а) Использование экрана с высокой удельной проводимостью б) Использование экрана с низкой удельной проводимостью в) Низкое сопротивление заземления экрана г) Высокое сопротивление заземления экрана д) Использование ферромагнитного экрана	

Тема 3.4. Распространение помех через электромагнитные связи в кабельной трассе.

Понятие 3.4.1. Факторы, уменьшающие наведенное напряжение в кабельной трассе, обусловленное электрической (емкостной) связью.	а) Увеличение расстояния между кабелями б) Увеличение расстояния между кабелем-рецептором и корпусом в) Применение экранированного кабеля-рецептора г) Увеличение длины совместной прокладки д) Прокладка кабеля-рецептора в стальной трубе	
Понятие 3.4.2. Факторы, уменьшающие наведенное напряжение в кабельной трассе, обусловленные магнитной (индуктивной) связью.	а) Увеличение расстояния между кабелями б) Увеличение расстояния между кабелем-рецептором и корпусом в) Применение экранированного кабеля-рецептора г) Увеличение длины совместной прокладки д) Прокладка кабеля-рецептора в стальной трубе	
Понятие 3.4.3. Причина уменьшения симметричного наведенного напряжения при скрутке проводников информационного кабеля.	а) Увеличение длины проводников б) Вычитание ЭДС, наводимых магнитным полем на соседних <u>полувитках</u> скрутки в) Выравнивание напряжений, наведенных на каждом проводе относительно корпуса г) Уменьшение протекающего тока д) Увеличение сопротивления проводников	
Понятие 3.4.4. Факторы, уменьшающие наведенное напряжение в экранированном кабеле.	а) Увеличение оптической плотности экрана б) Покрытие экрана кабеля изоляцией в) Увеличение расстояния от <u>помехонесущего</u> кабеля г) Увеличение расстояния между экранированным кабелем и корпусом д) Заземление экрана	

Раздел 4. Влияние помех на электронное и электротехническое оборудование

Тема 4.1. Воздействие помех на оборудование.

Понятие 4.1.1. Элементы, наиболее восприимчивые к импульсным помехам	а) Операционные усилители б) Транзисторы в) Резисторы г) Цифровые микросхемы д) Стабилитроны	
Понятие 4.1.2. Устройства, наиболее восприимчивые к узкополосным высокочастотным помехам.	а) Инверторы б) Выпрямители в) Компьютеры г) Регуляторы напряжения д) Радиоприемники	
Понятие 4.1.3. Основные порты проникновения помех в оборудование	а) Цепи питания б) Цепи ввода-вывода информации в) Корпус г) Заземление д) Оптические линии связи	
Понятие 4.1.4. Зависимость вероятности переключения цифровой микросхемы от амплитуды импульсной помехи.	а) Падающая кривая б) Линейно возрастающая кривая в) Колоколообразная кривая г) Возрастающая кривая в виде ступеньки д) Нет зависимости	

Тема 4.2. Помехоустойчивость технических средств

Понятие 4.2.1. Главная характеристика помехоустойчивости оборудования	<ul style="list-style-type: none"> а) Вероятность разрушения оборудования б) Максимальный уровень помех, при котором оборудование не выходит из строя в) Уровень помех, при котором происходят сбои г) Частота помех, при которой происходят сбои д) Максимальный уровень помех, при котором нет сбоев в работе оборудования 	
Понятие 4.2.2. Наиболее опасный для цифровой техники вид помех.	<ul style="list-style-type: none"> а) Радиочастотные поля б) Гармоники питающего напряжения в) Интермодуляционные г) Импульсные д) Высокочастотные напряжения 	
Понятие 4.2.3. Доработки оборудования, повышающие его помехоустойчивость	<ul style="list-style-type: none"> а) Снижение быстродействия элементов б) Повышение быстродействия элементов в) Дублирование передаваемой информации г) Увеличение длины заземления д) Увеличение напряжения сигналов 	
Понятие 4.2.4. Факторы, увеличивающие опасность помехи для оборудования	<ul style="list-style-type: none"> а) Рост амплитуды б) Уменьшение длительности в) Уменьшение длительности фронта г) Уменьшение частоты д) Уменьшение скорости изменения напряжения 	

Раздел 5. Снижение уровней помех в электроэнергетической системе

Тема 5.1. Снижение помех при работе силовых полупроводниковых преобразователей

Понятие 5.1.1. Факторы, снижающие коэффициент <u>несинусоидальности</u> в судовой электроэнергетической системе.	<ul style="list-style-type: none"> а) Повышение мощности источников электроэнергии б) Уменьшение мощности источников электроэнергии в) Установка фильтров г) Увеличение углов управления выпрямителей д) Выключение асинхронных электродвигателей 	
Понятие 5.1.2. Способы снижения помех в питающей сети от <u>тиристорного</u> выпрямителя.	<ul style="list-style-type: none"> а) Увеличение угла управления б) Уменьшение угла управления в) Увеличение сопротивления цепи заземления г) Применение сетевого фильтра на входе д) Применение экранирующего корпуса 	
Понятие 5.1.3. Выпрямитель с наименьшим уровнем создаваемых помех	<ul style="list-style-type: none"> а) Трехфазный <u>тиристорный</u> мостовой б) Трехфазный <u>неуправляемый</u> мостовой в) Однофазный <u>управляемый</u> г) <u>Двенадцатипульсный</u> управляемый д) <u>Двенадцатипульсный</u> неуправляемый 	
Понятие 5.1.4. Методы и средства снижения уровня помех от полупроводникового преобразователя	<ul style="list-style-type: none"> а) Выключение транзисторов при нулевом токе б) Выключение транзисторов с максимально возможной скоростью в) Включение транзисторов при нулевом напряжении на них г) Ограничение скорости изменения тока 	

Тема 5.2. Подавление кондуктивных помех от вторичных источников питания

Понятие 5.2.1. Схемы вторичных источников питания с наименьшим уровнем помех.	а) Схема с инвертором напряжения б) Схема с инвертором тока в) <u>Бестрансформаторная</u> схема г) Схема с трансформатором и управляемым выпрямителем д) Схема с трансформатором и диодным выпрямителем	
Понятие 5.2.2. Элементы, используемые для ограничения импульсных перенапряжений в цепях преобразователя.	а) Катушки индуктивности б) Диоды в) RC-цепи г) Дроссели д) Оптроны	
Понятие 5.2.3. Конструктивные средства снижения помех от вторичных источников питания	а) Применение витых пар проводов для передачи импульсных токов б) Увеличение площади контуров с импульсными токами в) Экранирование <u>помехонесущих цепей</u> г) Объединение входных и выходных цепей в одном разъеме д) Разнесение входных и <u>помехонесущих цепей</u>	
Понятие 5.2.4. Внешние методы и средства снижения помех от вторичных источников питания	а) Установка в заземленный металлический корпус б) Установка в незаземленный металлический корпус в) Экранирование кабелей питания г) Установка сетевого фильтра д) Увеличение высоты прокладки кабеля питания	

Тема 5.3. Снижение коммутационных импульсных помех в электрической сети

Понятие 5.3.1. Условие отсутствия помех при включении резистивной нагрузки	а) Малое сопротивление включаемой нагрузки б) Равенство нулю напряжения в момент включения в) Высокое сопротивление источника питания г) Большая индуктивность источника питания д) Мгновенное замыкание контактов выключателя	
Понятие 5.3.2. Условие отсутствия помех при включении в сеть конденсатора	а) Низкое сопротивление источника питания б) Равенство напряжения в сети и на конденсаторе в момент включения в) Высокое сопротивление источника питания г) Большая индуктивность источника питания д) Мгновенное замыкание контактов выключателя	
Понятие 5.3.3. Условие отсутствия помех при отключении катушки индуктивности.	а) Низкое сопротивление источника питания б) Равенство нулю тока в момент отключения в) Высокое сопротивление источника питания г) Большая индуктивность источника питания д) Быстрое <u>размыкания</u> контактов выключателя	
Понятие 5.3.4. Средства снижения помех при отключении катушки индуктивности.	а) Дроссель б) Диод в) Варистор г) Оптрон д) Конденсатор	

Раздел 6. Защита оборудования от помех и повышение помехоустойчивости.

Тема 6.1. Защита по порту питания

Понятие 6.1.1. Отличия реальной катушки индуктивности от идеальной, которые необходимо принимать во внимание при расчете фильтров	а) Зависимость емкости катушки от напряжения б) Наличие активного сопротивления в) Зависимость индуктивности от частоты г) Нелинейность активного сопротивления д) Наличие емкости катушки	
Понятие 6.1.2. Отличия реального конденсатора от идеального, которые необходимо принимать во внимание при расчете фильтров	а) Наличие резонанса б) Наличие активного сопротивления выводов в) Зависимость емкости от напряжения г) Зависимость емкости от тока д) Наличие индуктивности конденсатора	
Понятие 6.1.3. Особенности помехозащитных трансформаторов.	а) Большой коэффициент трансформации б) Наличие экрана между обмотками в) Меньшее сечение проводов г) Больше число витков д) Больше расстояние между входными и выходными клеммами	
Понятие 6.1.4. Элементы защиты цепей питания от импульсных напряжений большой энергии	а) Помехозащитный трансформатор б) Разрядник в) Резистор г) Диод д) Варистор	

Тема 6.2. Защита по порту ввода-вывода

Понятие 6.2.1. Смысл симметрирования цепей передачи информации.	а) Увеличение сопротивления цепей б) Уменьшение сопротивления цепей в) Уменьшение симметричных наведенных напряжений г) Уменьшение емкости проводников относительно корпуса д) Уменьшение несимметричных наведенных напряжений	
Понятие 6.2.2. Суть гальванической развязки	а) Отсутствие электрического контакта цепей б) Применение гальванического покрытия проводов в) Снижение сопротивления цепей г) Увеличение емкости цепи на корпус д) Прокладка цепи по трубе с гальваническим покрытием	
Понятие 6.2.3. Порядок выбора кабелей с точки зрения наилучшей защищенности от помех	а) Неэкранированный б) С <u>пожилым</u> экранированием в) С общим экраном г) С <u>пожилым</u> и общим экранами д) Оптический	
Понятие 6.2.4. Способы повышение помехоустойчивости входных цепей обработки информации.	а) Повышение быстродействия б) Снижение быстродействия в) Применение фильтра г) Повышение уровня передаваемых сигналов д) Помехозащитное кодирование информации	

Тема 6.3. Защита по порту корпуса

Понятие 6.3.1. Способы защиты от электростатического разряда	а) Обеспечение хорошего контакта частей корпуса б) Увеличение сопротивления цепи заземления в) Экранирование чувствительных цепей г) Увеличение быстродействия элементов схемы д) Изоляция металлической передней панели от остальных частей корпуса	
Понятие 6.3.2. Наилучший материал для защиты от низкочастотного магнитного поля	а) Сталь б) Пермаллой в) Медь г) Алюминий д) Золото	
Понятие 6.3.3. Наилучший материал для защиты от высокочастотного электромагнитного поля	а) Сталь б) Золото в) Медь г) Алюминий д) Серебро	
Понятие 6.3.4. Наилучшее исполнение корпуса оборудования с точки зрения защиты от электромагнитного поля	а) Сплошной сварной металлический б) Сборный металлический в) Пластмассовый г) Металлический сетчатый д) Пластмассовый с напылением металла	

Тема 6.4. Заземление

Понятие 6.4.1. Назначение заземления с точки зрения ЭМС.	а) Снижение напряжения на корпусе при аварии б) Обеспечение одинакового потенциала корпусов оборудования в) Стеkanie зарядов на землю г) Создание обратного провода для передачи сигналов д) Устранение токов утечки	
Понятие 6.4.2. Наилучшая конструкция заземляющего проводника при одинаковом сечении и длине	а) Одножильный провод б) Многожильный провод в) Широкая лента г) Оплетка д) Трубка	
Понятие 6.4.3. Наилучший способ заземления.	а) Магистральный б) Радиальный в) Заземление на корпус электроустановки г) Смешанный д) Заземление только чувствительного оборудования	
Понятие 6.4.4. Факторы, повышающие качество заземления с точки зрения ЭМС.	а) Уменьшение индуктивности заземления б) Уменьшение длины проводника заземления в) Уменьшение емкости оборудования г) Антикоррозийное покрытие контактов д) Применение изоляционного покрытия провода заземления	

Раздел 7. Сертификация и стандартизация в области электромагнитной совместимости электронного и электротехнического оборудования
Тема 7.1. Системы сертификации и организации по стандартизации в области электромагнитной совместимости

Понятие 7.1.1. Смысл сертификации оборудования по параметрам ЭМС	а) Подтверждение соответствия стандартам по ЭМС б) Проверка наличия данных по ЭМС в паспорте в) Сбор данных об авариях из-за сбоев г) Регистрация выпускаемых типов оборудования д) Проведение расчетов по ЭМС	
Понятие 7.1.2. Содержание Европейской директивы ЕЕС 336 1989 года	а) Методики испытаний оборудования б) Требование введения сертификации и единых стандартов по ЭМС в) Методики измерения радиопомех г) Требования к оборудованию по помехоустойчивости д) Требования по <u>помехозащите</u>	
Понятие 7.1.3. Область деятельности 77 комитета МЭК	а) Разработка стандартов о помехоустойчивости б) Разработка стандартов о <u>помехозмиссии</u> в) Разработка стандартов о помеховой обстановке г) Проведение испытаний по ЭМС д) Проведение сертификации по ЭМС	
Понятие 7.1.4. Область деятельности комитета СИСПР МЭК	а) Разработка стандартов о помехоустойчивости б) Разработка стандартов о <u>помехозмиссии</u> в) Разработка стандартов о помеховой обстановке г) Проведение испытаний по ЭМС д) Проведение сертификации по ЭМС	

Тема 7.2. Стандарты по электромагнитной совместимости

Понятие 7.2.1. Содержание базовых стандартов по ЭМС	а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости б) Требования к установке оборудования в) Нормы на допустимый уровень помех г) Методики испытаний д) Требования к прокладке кабельных трасс	
Понятие 7.2.2. Содержание общих стандартов (Generic) по ЭМС	а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости по месту установки б) Требования к установке оборудования в) Нормы на допускаемый уровень создаваемых помех по месту установки г) Методики испытаний д) Требования к прокладке кабельных трасс	
Понятие 7.2.3. Содержание стандартов на семейство продукции по ЭМС	а) Список необходимых испытаний б) Критерий функционирования в) Степень жесткости испытаний г) Методики испытаний д) Требования к монтажу продукции	
Понятие 7.2.4. Содержание стандартов на продукцию по ЭМС	а) Список необходимых испытаний б) Критерий функционирования в) Степень жесткости испытаний г) Ссылки на базовые стандарты д) Методики испытаний	

7.3. Основополагающие документы и требования по электромагнитной совместимости электротехнического оборудования

Понятие 7.3.1. Область деятельности Российского Энергетического Регистра в области ЭМС	а) Проведение расчетов ЭМС в электроэнергетике б) Надзор за выполнением требований по ЭМС в) Аккредитация испытательных лабораторий г) Проведение измерений помех д) Разработка и публикация требований по ЭМС	
Понятие 7.3.2. Основной документ, содержащий требования по ЭМС к электротехническому оборудованию.	а) ГОСТ Р 51317.4.5 б) МЭК 61000-4-1 в) EN 61000-4-2 г) Правила классификации и постройки электротехнического оборудования д) РД 31.64.26-00	
Понятие 7.3.3. Содержание требований Российского Регистра к электротехническому оборудованию по ЭМС	а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости б) Требования к выбору толщины корпуса оборудования для экранирования магнитного поля Земли в) Нормы на допустимый уровень создаваемых радиопомех г) Требования к проведению испытаний по ЭМС д) Требования к заземлению оборудования	
Понятие 7.3.4. Содержание требований по обеспечению ЭМС в электроэнергетике.	а) Требования к оборудованию по помехоустойчивости б) Требования к несинусоидальности напряжения в) Нормы на допустимый уровень создаваемых помех г) Требования к установке антенн д) Требования к прокладке кабелей	

Раздел 8. Испытание технических средств на устойчивость к помехам

Тема 8.1. Испытательное оборудование

Понятие 8.1.1. Назначение имитаторов помех	а) Имитация реальных нагрузок оборудования б) Проведение испытаний на помехоустойчивость в) Подавление помех г) Измерение параметров помех д) Измерение сопротивления источников помех	
Понятие 8.1.2. Назначение устройств связи-развязки	а) Измерение параметров связи кабелей в трассе б) Электромагнитная развязка имитаторов помех и испытываемого оборудования в) Защита оборудования от помех г) Измерение параметров связи цепей питания и передачи информации д) Ввод помех от имитаторов помех в цепи питания испытываемого оборудования	
Понятие 8.1.3. Назначение емкостных клещей	а) Измерение параметров связи кабелей в трассе б) Электромагнитная развязка испытываемого оборудования от цепи питания в) Защита оборудования от помех г) Измерение параметров связи цепей питания и передачи информации д) Ввод помех от имитаторов помех в цепи ввода-вывода испытываемого оборудования	

Понятие 8.1.4. Параметры микросекундных и наносекундных импульсных помех, создаваемых имитаторами при испытаниях технического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> а) 1 <u>кВ</u>, длительность 10 <u>мкс</u>, фронт 1 <u>мкс</u> б) 1 <u>кВ</u>, длительность 100 <u>мкс</u>, фронт 1 <u>мкс</u> в) 2 <u>кВ</u>, длительность 50 <u>мкс</u>, фронт 1 <u>мкс</u> г) 2 <u>кВ</u>, длительность 100 <u>нс</u>, фронт 10 <u>нс</u> д) 2 <u>кВ</u>, длительность 50 <u>нс</u>, фронт 5 <u>нс</u> 	
--	---	--

Тема 8.2. Проведение испытаний оборудования на устойчивость к помехам

Понятие 8.2.1. Критерий функционирования А	<ul style="list-style-type: none"> а) Полное разрушение оборудования б) Выход из строя одного элемента в) Нарушение функционирования, требующее вмешательства оператора г) Сбой, самоустраняющийся после окончания действия помех д) Отсутствие всякого влияния помех 	
Понятие 8.2.2. Критерий функционирования В	<ul style="list-style-type: none"> а) Полное разрушение оборудования б) Выход из строя одного элемента в) Нарушение функционирования, требующее вмешательства оператора г) Сбой, самоустраняющийся после окончания действия помех д) Отсутствие всякого влияния помех 	
Понятие 8.2.3. Критерий функционирования С	<ul style="list-style-type: none"> а) Полное разрушение оборудования б) Выход из строя одного элемента в) Нарушение функционирования, требующее вмешательства оператора г) Сбой, самоустраняющийся после окончания действия помех д) Отсутствие всякого влияния помех 	
Понятие 8.2.4. Виды помех, на воздействие которых проверяется электротехническое оборудование	<ul style="list-style-type: none"> а) Электростатический разряд 8 <u>кВ</u> б) Импульсные помехи в цепях питания 2 <u>кВ</u> в) Электромагнитное поле 10 В/м, 80-2000 МГц г) Электромагнитный импульс 30 <u>кВ/м</u> д) Токи в цепях заземления 200 А 	

Раздел 9. Измерение параметров помех

Тема 9.1. Средства измерения в области электромагнитной совместимости

Понятие 9.1.1. Особенность измерителя радиопомех, используемого при проведении измерений эмиссии помех в ходе испытаний электротехнического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> а) Используется принцип действия осциллографа б) Представляет из себя широкополосный вольтметр в) Представляет из себя специализированный радиоприемник с выходным вольтметром г) Представляет из себя широкополосный ваттметр д) Представляет из себя сверхширокополосный измеритель напряженности электромагнитного поля 	
Понятие 9.1.2. Смысл квазипикового детектирования	<ul style="list-style-type: none"> а) Определение среднего значения радиопомех б) Определение амплитуды радиопомех в) Определение действующего значения радиопомех г) Количественная оценка опасности радиопомех при приеме радиопередач на слух д) Оценка пикового значения радиопомех 	

Понятие 9.1.3. Назначение токосъемников.	а) Преобразование тока помех в мощность б) Преобразование тока помех в напряжение в) Преобразование мощности помех в ток г) Преобразование тока в сопротивление д) Ввод тока в испытываемые цепи	
Понятие 9.1.4. Назначение поглощающих клещей	а) Преобразование тока помех в мощность б) Преобразование тока помех в напряжение в) Преобразование мощности помех в напряжение г) Преобразование тока помех в сопротивление д) Ввод энергии помех в испытываемые цепи	

Тема 9.2. Измерение кондуктивных радиопомех

Понятие 9.2.1. Цель измерения радиопомех, создаваемых оборудованием	а) Сравнение качества различного оборудования между собой б) Проверка помехоустойчивости оборудования в) Проверка соответствия оборудования норме на допустимые уровни создаваемых радиопомех г) Проверка эффективности средств <u>помехозащиты</u> д) Проверка слышимости подаваемых радиосигналов	
Понятие 9.2.2. Назначение эквивалента сети	а) Создание напряжения электропитания б) Регулирование частоты тока электропитания в) Проведение измерений помеховой обстановки в электрической сети г) Измерение напряженности электромагнитного поля, создаваемого оборудованием д) Проведение измерений напряжения радиопомех, создаваемых оборудованием в цепях электропитания	
Понятие 9.2.3. Базовая величина для определения тока в децибелах	а) 1 А б) 1 мА в) 1,42 мА г) 1 мкА д) 1 мВт	
Понятие 9.2.4. Узкополосные измерения	а) Измерение сигнала, ширина спектра которого больше полосы пропускания измерителя б) Измерения с помощью осциллографа в) Измерение сигнала, ширина спектра которого равна полосе пропускания измерителя г) Измерения с помощью приемника с полосой пропускания 1 МГц д) Измерение сигнала, ширина спектра которого меньше полосы пропускания измерителя	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаталов, А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие / А.Ф. Шаталов, И.Н. Воротников, И.И. Боровлев; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 200 с.
2. Шваб Адольф. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора/ Под ред. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Воротников, И. Н. Исследование методов измерения электрической емкости на постоянном токе / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко // Методы и средства повышения эффективности технологических процессов АПК: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. – г. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного ун-та. – 2013. – С. 66 – 68.
4. Воротников, И. Н. Способы измерения электрической емкости по параметрам переходного процесса / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. - № 10. – С. 60 – 65.
5. Baraton R., Cahout J., Hutzler B. Three dimensional computation of the electric fields induced in human body by magnetic fields. 8-ISH, Jokohama, 1993.
6. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Уч. пособие/ Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Н. Новгород: НГТУ, 2004.
7. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б.И. Давыдов, В.С. Тихончук, В.В. Антипов; Под ред. Ю.Г. Григорьева. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Шевель Д.М. Электромагнитная безопасность: – К.: ВЕК+, 2002.
10. Афанасьев А.А., Долотко В.И., Карнишин В.В. и др. Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники. – Фрязино.: Циклон-тест, 1999.
11. Салтыков В.М., Салтыкова О.А., Салтыков А.В. Влияние характеристик дуговых сталеплавильных печей на качество напряжения в системах электроснабжения. Под общ. ред. В.М. Салтыкова. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
12. В. П. Бобров, В.Г. Гольдштейн, Ф.Х. Халилов. Перенапряжения и защита от них в электрических сетях 110 – 750 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
13. ГОСТ 12.1.002-84. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля.

14. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
15. ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
16. VDE 0848-2 -92 (Нормы разработаны Немецким союзом электротехников – VDE, Германия).
17. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. Стандарт организации СО 34.35.311-2004. – М.: Издательство МЭИ, 2004.
18. Салтыков В.М., Салтыкова О.А. и др. Целесообразность учета электромагнитных излучений в экологическом состоянии городов. Сборник материалов IV Международной науч.-практ. конференции «Экономика, экология и общество России в 21-м столетии». – С. Петербург, СПбГТУ и МВШУ, 2002.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А - Нормы и рекомендации по ЭМС

ЭМС является показателем качества продукции, поэтому на различных этапах ее создания необходимо соблюдать нормы и рекомендации, которые охватывают перечень вопросов электромагнитной совместимости [1].

Любая страна имеет национальные комитеты, институты и т.д., рассматривающие нормы по ЭМС, которые обычно связаны со следующими международными организациями:

- * СИГРЭ - Международная конференция по большим энергетическим системам;
- * ССИТТ - Международная совещательная комиссия телеграфной и телефонной службы;
- * UNIPEDE - Международный союз по производству и распределению электроэнергии;
- * МЭК - Международная электротехническая комиссия;
- * CENELEC - Европейский комитет по нормированию в области электротехники;
- * СИСПР - Специальный международный комитет по радиопомехам.

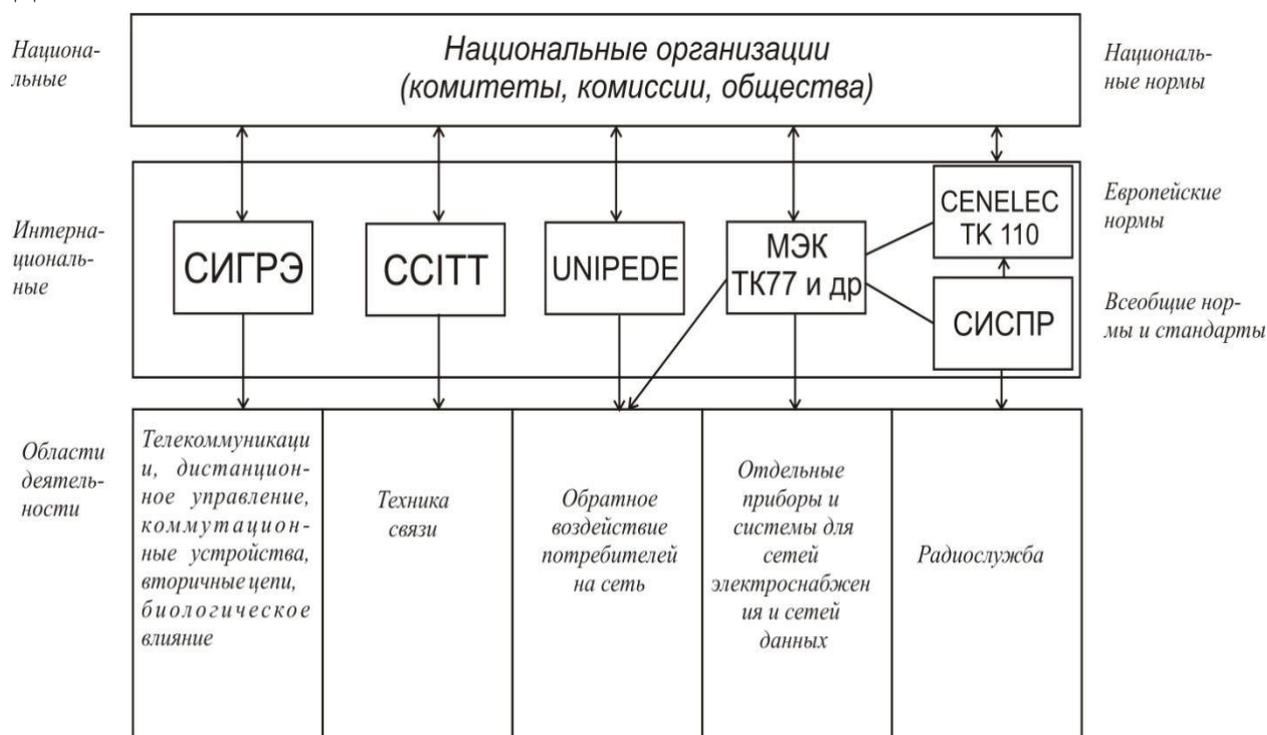


Рисунок П.А.1 - Организации, занимающиеся нормированием ЭМС, и области их деятельности

Национальные организации – комитеты, комиссии, общества, которые занимаются нормированием ЭМС и области их деятельности представлены на рис. П.А.1.

Целевыми объектами в области ЭМС электроэнергетики и электротехники, являются:

- терминология, понятия и определения, и использование норм;
- уровень ЭМС и классификация окружающей по помехоустойчивости электротехнических средств
- допустимые значения ЭМП, вызываемые приборами отдельных классов;
- классы помехоустойчивости электротехнических средств;
- приемы и устройства для измерения ЭМП и других параметров, относящихся к ЭМС;
- меры проведения испытаний и устройства для тестирования;
- отображение помех в документации, помехозащищенности и излучения ЭМП электротехническими средствами;
- соответствующие указания по обращению с электронными устройствами, их хранению, транспортировке и т.п.;
- инструкции по эксплуатации устройств и зданий, обладающих ЭМС;
- плановое содержание работ по ЭМС;
- параметры отдельных деталей и материалов, которыми рекомендуется пользоваться при решении проблем ЭМС.

Особо рекомендуется учитывать деятельность технического комитета ТК 77 МЭК, который решает вопросы нормализации и стандартизации ЭМС:

1. Общие вопросы: рассмотрение, определения, терминология.
2. ЭМО - характеристика окружающей электромагнитной обстановки, ее классификация, уровни ЭМС.
3. Допустимые значения ЭМП, и их допустимые значения.
4. Способы измерений, способы испытаний.
5. Защитные мероприятия и рекомендации по оснащению.
6. Разное.

Главной задачей Технического комитета ТК 77 МЭК является разработка нормативных документов в области электроэнергетики и электротехники, связанные с ЭМС [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Приложение В - Государственные стандарты и нормы в области электромагнитной безопасности

Таблица П.В.1 - ГОСТ РФ в области электромагнитной безопасности

Обозначение	Наименование
ГОСТ 12.1.002-84	Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряжённости и требования к проведению контроля
ГОСТ 12.1.006-84	Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
ГОСТ 12.1.045-84	Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

Таблица П.В.2 - СНИП для условий профессионального облучения ЭМП

Обозначение	Наименование	Примечание
СанПиН 2.2.4/ 2.1.8.055-96	Санитарные правила и нормы. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).	Утв.08.05.96 ГКСЭН
СанПиН 2.2.2.542-96	Гигиенические требования к <u>видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</u>	Утв.14.07.96 ГКСЭН
ГН 2.1.8./2.2.4.019-94	Гигиенические нормативы. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой связи.	Утв.27.12.94 ГКСЭН
ОБУВ № 5060-89	Ориентировочные безопасные уровни воздействия переменных магнитных полей частотой 50Гц при производстве работ под напряжением на воздушных линиях (ВЛ) электропередачи напряжением 220-1150 <u>кВ.</u>	Утв.28.09.89 МЗ СССР

СН № 5802-91	Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты (50 Гц).	Утв.31.06.91 МЗ СССР
СанПиН 2.2.4.723-98	Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях.	Утв.13.11.98 МЗ РФ
ПДУ № 3206-85	Предельно – допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц.	Утв.17.01.85 МЗ СССР
ПДУ № 1742-77	Предельно-допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами и магнитными материалами.	Утв.16.08.77 МЗ СССР

Таблица П.В.3 - СНИП для условий непрофессионального облучения (население)

Обозначение	Наименование	Примечание
ГН 2.1.8./2.2.4.01994	Гигиенические нормативы Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой связи.	Утв.27.12.94. ГКСЭН
СН № 2971-84	Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока ПЧ.	Утв.28.02.84. МЗ СССР
СанПиН 2.2.2.542-96	Гигиенические требования к видеодис-плейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.	Утв.14.07.96. ГКСЭН
МСанПиН 001-96	Межгосударственные санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях.	Утв.19.01.96. ГКСЭН
СанПиН 2.2.4/2.1.8.05596	Санитарные правила и нормы. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).	Утв.08.05.96. ГКСЭН

Окончание таблицы П.В.3

СН № 2666-83	Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами.	1983 г.
СН № 2550-82	Предельно допустимые нормы напряженности электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20 – 22 кГц.	1982 г.

Таблица П.В.4 - Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для потребительской продукции, являющейся источником ЭМП

Источник	Диапазон	Значение ПДУ	Примечание
Индукционные печи	20 – 22 кГц	500 В/м 4 А/м	Условия измерения: расстояние 0,3 м от корпуса.
СВЧ печи	2,45 ГГц	10 мкВт/см ²	Условия измерения: расстояние 0,50...0,05 м от любой точки, при нагрузке 1 литр воды.
Видеодисплейный терминал ПЭВМ	5 Гц – 2 кГц	$E_{пду} = 25 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 250 \text{ нТл}$	Условия измерения: расстояние 0,5 м вокруг монитора ПЭВМ.
	2 – 400 кГц	$E_{пду} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 25 \text{ нТл}$	
	поверхностный электростатический потенциал	V = 500 В	Условия измерения: расстояние 0,1 м от экрана монитора ПЭВМ.

Таблица П.В.5 - Временно допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи, непрофессиональное воздействие

Категория облучения	Величина ВДУ ЭМИ	Примечание
Облучение населения, проживающего на прилегающей территории, от антенн базовых станций.	$\text{ППЭ}_{\text{вду}} = 10$ мкВт/см ²	
Облучение пользователей радиотелефонов.	$\text{ППЭ}_{\text{вду}} = 100$ мкВт/см ²	Условия измерения: Измерения ППЭ следует производить на расстоянии от источника ЭМИ, соответствующего расположению головы человека, подвергающегося облучению.

Таблица П.В.6 - ПДУ воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами для основного населения

Источник	Диапазон частот	Значение ПДУ	Примечание
Радиотехнические объекты	30 – 300 кГц	25 В/м	Для всех случаев облучения
	0,3 – 3 МГц	15 В/м	
	3 – 30 МГц	10 В/м	
	30 – 300 МГц	3 В/м	
	300 МГц – 300 ГГц	10 мкВт/см ²	

Таблица П.В.7 - Границы санитарно-защитных зон для линий электропередач согласно СН № 2971-84

Напряжение ЛЭП	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1150 кВ
Размер санитарно-защитной (охранной) зоны	20 м	30 м	40 м	55 м

Таблица П.В.8 - Допустимые уровни воздействия электрического поля линии электропередач на население

ПДУ, E, кВ/м	Условия облучения
0,5	Внутри жилых зданий
1,0	На территории зоны жилой застройки
5,0	В населенной местности вне зоны жилой застройки; (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов в пределах черты этих пунктов) а также на территории огородов и садов;
10,0	На участках пересечения воздушных линий электропередачи с автомобильными дорогами I – IV категорий;
15,0	В ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья);
20,0	В труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения.

Таблица П.В.9 - Допустимые уровни напряженности электрического и магнитного и полей

Частота	Напряжённость магнитного поля, А/м	Частота	Напряжённость электрического поля, В/м
50 Гц	80	50 Гц	5000
1-12 кГц	50	0.06-3 МГц	50
0,06-3 МГц	5	3-30 МГц	20
30-50 МГц	0,3	30-50 МГц	10

Приложение С- Единицы измерения в системе СИ

Таблица П.С.1-Единицы измерения

Название и обозначение величины	Единица измерения	Обозначение		Формула
		русское	международное	
Сила электрического тока	I ампер	А	A	I
Термодинамическая температура	T кельвин	К	K	T
Частота	f герц	Гц	Hz	$f = 1/t$
Скорость	v	м/с	m/s	$v = dL/dt$
Угловая скорость	ω	рад/с	rad/s	$\omega = d\phi/dt$
Угловое ускорение	ε	рад/с ²	rad/s ²	$\varepsilon = d^2\phi/dt^2$
Сила	F ньютон	Н	N	$F = ma$
Работа, энергия	A джоуль	Дж	J	$A = F \cdot L$
Импульс	p	кг·м/с	kg·m/s	$p = m \cdot v$
Мощность	P ватт	Вт	W	$P = A/t$
Электрический заряд	q кулон	Кл	C	$q = I \cdot t$
Электрическое напряжение, электрический потенциал	U вольт	В	V	$U = A/q$
Напряжённость электрического поля	E	В/м	V/m	$E = U/L$
Электрическое сопротивление	R ом	Ом	Ω	$R = U/I$
Электрическая ёмкость	C фарад	Ф	F	$C = q/U$
Магнитная индукция	B тесла	Тл	T	$B = F/I \cdot L$
Напряжённость магнитного поля	H	А/м	A/m	
Магнитный поток	Φ вебер	Вб	Wb	$\Phi = B \cdot S$
Индуктивность	L генри	Гн	H	$L = U \cdot dt/dI$

Нормативные документы по электромагнитным излучениям и электромагнитным полям (ЭМИ, ЭМП)

Федеральный Закон РФ ФЗ-№52 О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения

Настоящий Федеральный закон направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду.

МСанПиН 001-96

Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях

Настоящие санитарные правила и нормы (СанПиН) устанавливают допустимые уровни физических факторов, обеспечивающие безопасное и безвредное для здоровья человека применение товаров народного потребления (ТНП) в бытовых условиях.

СанПиН 2.1.2.1002-2000

Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям

Данные правила устанавливают санитарные требования, которые следует соблюдать при проектировании, реконструкции, строительстве, а также содержании эксплуатируемых жилых зданий и помещений, предназначенных для постоянного проживания, за исключением гостиниц, общежитий, специализированных домов для инвалидов, детских приютов, вахтовых поселков.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ

Требования Санитарных правил направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ (персональным компьютером).

СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03

Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной

	радиосвязи
СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03	Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов
<u>СанПиН 2.2.4.1191-03</u>	<u>Электромагнитные поля в производственных условиях</u> Данные Санитарные правила действуют на всей территории Российской Федерации и устанавливают санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих, подвергающихся в процессе трудовой деятельности профессиональному воздействию электромагнитных полей (ЭМП) различных частотных диапазонов, а также устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) ЭМП и требования к проведению контроля уровней ЭМП на рабочих местах, методам и средствам защиты работающих.
СанПиН 2.2.4.1329-03	Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей
СанПиН 2.2.4.723-98	Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях
<u>СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96</u>	<u>Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)</u> Санитарные правила устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия на людей электромагнитных излучений (ЭМИ РЧ) в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц и основные санитарно-гигиенические требования к разработке, изготовлению, приобретению и использованию источников ЭМИ РЧ в процессе работы, обучения, быта и отдыха людей.
СанПиН 2.2.4.0-95	Гигиенические требования при работе в условиях воздействия постоянных магнитных полей
ГН 2.1.8/2.2.4.019-94	Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи. Гигиенические нормативы
ГОСТ 12.1.002-84	Электрические поля промышленной частоты.

Допустимые уровни напряжённости и требования к проведению контроля

ГОСТ 12.1.006-84	Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
ГОСТ 12.1.045-84	Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
СНиП 2971-84	Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты
СН 2666-83	Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами
СН 2550-82	Предельно допустимые нормы напряжённости электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20-22 кГц

Учебное пособие

Лукина Галина Владимировна,
Подъячих Сергей Валерьевич,
Иванов Дмитрий Александрович,
Быкова Светлана Михайловна

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ