

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра автоматики и телемеханики

К. А. БОЧКОВ, Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, С. И. ХОМЕНКО

ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Лабораторный практикум
по дисциплине «Электромагнитная совместимость
устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи»

Гомель 2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра автоматики и телемеханики

К. А. БОЧКОВ, Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, С. И. ХОМЕНКО

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Лабораторный практикум
по дисциплине «Электромагнитная совместимость
устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи»

Одобен методической комиссией
электротехнического факультета

Гомель 2003

УДК 656.25-192
Б866

Бочков К.А., Березняцкий Ю.Ф., Хоменко С.И.

Б866 Обеспечение электромагнитной совместимости технических средств: Лабораторный практикум по дисциплине «Электромагнитная совместимость устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи» / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2003. – 80 с.

Рассматриваются вопросы нормирования и испытаний в области электромагнитной совместимости, меры по предотвращению проникновения кондуктивных электромагнитных помех в устройства через порты электропитания, а также вопросы обеспечения грозозащиты технических средств.

Практикум предназначен для студентов электротехнического факультета, обучающихся по специальности Т 11.05 «Автоматика, телемеханика и связь на транспорте».

Р е ц е н з е н т – декан факультета повышения квалификации и подготовительных курсов Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, докт. техн. наук, проф., профессор кафедры «Электроснабжение» **Прокопчик В.В.**

© К.А. Бочков, Ю.Ф. Березняцкий, С.И. Хоменко, 2003

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и постановка на производство современных технических средств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи должна обязательно соблюдаться мероприятиями по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС).

Согласно международному электротехническому словарю, под электромагнитной совместимостью понимается «способность оборудования или системы функционировать удовлетворительно в окружающей электромагнитной обстановке, не создавая недопустимых электромагнитных помех чему-либо в этой обстановке».

Настоящий практикум содержит в себе пять лабораторных работ из различных областей электромагнитной совместимости. Первая лабораторная работа посвящена изучению конструкции и принципа действия различных видов сетевых помехоподавляющих фильтров. Во второй работе рассматриваются требования наиболее важных международных стандартов в области ЭМС. В третьей работе к изучению предлагаются основные устройства и схемы по реализации защитных мероприятий устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (ЖАТС) от воздействий молниевых разрядов. Четвертая и пятая работы соответственно посвящены изучению методов испытаний технических средств ЖАТС на помехозащищенность по отношению к наносекундным

импульсным помехам и динамическим изменениям напряжения электропитания.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ СЕТЕВЫХ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Ц е л ь р а б о т ы . Изучить конструкцию и принцип действия сетевых помехоподавляющих фильтров, научиться определять характеристики сетевых фильтров.

1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Назначение сетевых помехоподавляющих фильтров

Распространение помех происходит в частотном диапазоне до 30 МГц преимущественно по проводам.

На сетевом кабеле и далее идущих проводах установки могут образовываться стоячие волны, вследствие чего общий блок действует как антенна. По этой причине место стыкования кабель-корпус является наиболее удачным местом для того, чтобы с помощью специализированного фильтра - сетевого фильтра противодействовать этим помехоизлучениям.

Сетевой фильтр в общем случае представляет собой комплексный блок, главной задачей которого является, по возможности без подавления пропустить сетевое напряжение частотой 50 Гц и подавить высокочастотные мешающие компоненты сетевого напряжения.

При выборе или разработке сетевого фильтра большое значение имеет частотный спектр и вид напряжений помех.

1.2 Виды напряжений помех

В сети питания напряжением 230 В с фазовым проводом **Ф**, нейтральным проводом **Н** и защитным проводом **З** различают симметричные и несимметричные виды помех.

О симметричном распространении напряжения помехи говорят, если ток помехи $I_{\text{дп}}$ как и полезный ток протекает от источника помех через проводник к приемнику помех и через нейтральный

провод обратно к источнику помех. Эту связь поясняет рисунок 1.1.

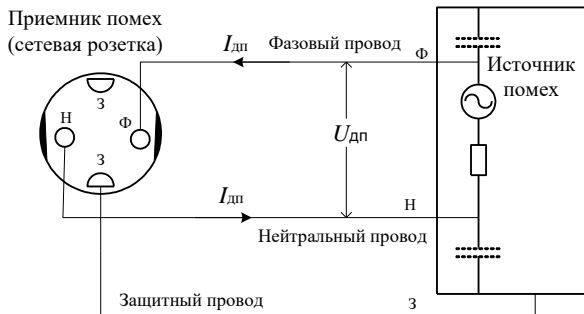


Рисунок 1.1 – Симметричное напряжение помехи

Если ток помехи $I_{\text{нп}}$ течет по обоим проводам Φ и Н от источника помех к приемнику помех, то говорят о несимметричном распространении помех. Как показано на рисунке 1.2, напряжение помехи теперь приложено как между нейтральным и защитным проводом, так и между фазовым и защитным проводами.

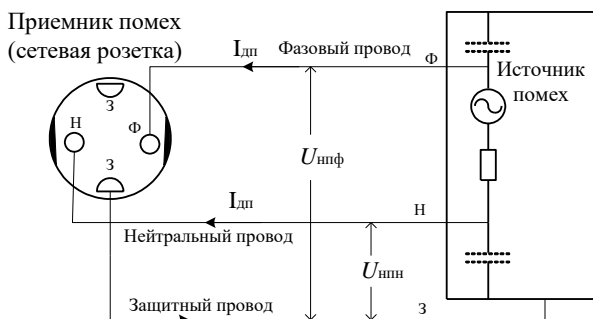


Рисунок 1.2 – Несимметричное напряжение помехи

Если напряжения помех между фазным и защитным, нейтральным и защитным проводами ($U_{\text{нпф}}$ и $U_{\text{нпз}}$) идентичны как равенством фаз, так и амплитудой, то говорят о несимметричном напряжении помех.

В общем виде на практике встречаются смешанные виды вышеназванных помех. При помехах в частотном диапазоне ниже 500 кГц речь идет преимущественно о симметричных напряжениях

помех, при помехах в диапазоне выше 500 кГц – о несимметричных напряжениях помех.

1.3 Принципы построения сетевых фильтров

Помехоподавляющие фильтры представляют собой элементы для обеспечения затухания поступающей по проводам помехи. Целесообразное их применение предполагает, что спектральные составляющие полезного сигнала и помехи достаточно отличаются друг от друга. Это позволяет при соответствующих параметрах фильтра обеспечить селективное демпфирование помехи при отсутствии заметного искажения полезного сигнала. При этом собственно эффект демпфирования достигается делением напряжения. Поясним это на простейшем примере.

Если в низкочастотный контур полезного сигнала (полезные величины \underline{U}_N , \underline{I}_N на рисунке 1.3,а) поступает высокочастотное напряжение помехи \underline{U}_0 , то на полном сопротивлении приемника \underline{Z}_S появляется составляющая напряжения помехи

$$\underline{U}_{ST} = \underline{U}_0 \frac{\underline{Z}_S}{\underline{Z}_Q + \underline{Z}_S}. \quad (1.1)$$

Введение зависящего от частоты продольного полного сопротивления \underline{Z}_L (рисунок 1.3, б), например в форме ωL , представляющего для низкочастотного тока \underline{I}_N очень малое, а для высокочастотного тока \underline{I}_{ST} – очень большое сопротивление, обеспечивает ослабление помехи, и составляющая, напряжения помехи снижается до

$$\underline{U}'_{ST} = \underline{U}_0 \frac{\underline{Z}_S}{\underline{Z}_Q + \underline{Z}_L + \underline{Z}_S}. \quad (1.2)$$

Достижимый эффект затухания можно характеризовать коэффициентом затухания – отношением падений напряжений на \underline{Z}_S при наличии \underline{Z}_L и без него:

$$\left| \frac{\underline{U}_{ST}}{\underline{U}'_{ST}} \right| = \left| \frac{\underline{Z}_Q + \underline{Z}_L + \underline{Z}_S}{\underline{Z}_Q + \underline{Z}_S} \right|. \quad (1.3)$$

Коэффициент затухания приводится, как правило, в виде

логарифма отношения напряжений и выражается в децибелах:

$$a_e = 20 \lg \left| \frac{\underline{U}_{ST}}{\underline{U}'_{ST}} \right|. \quad (1.4)$$

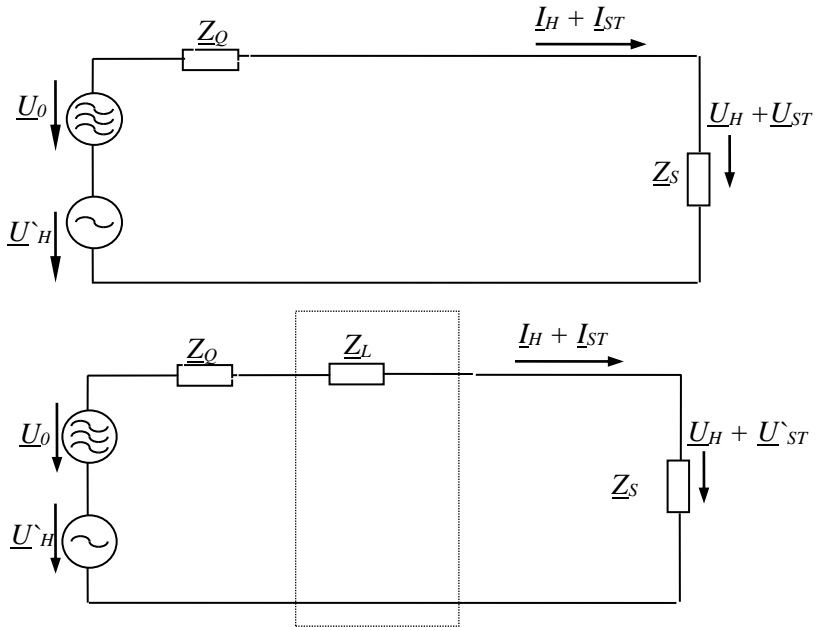


Рисунок 1.3 – Цепь без фильтра и цепь с фильтром

Согласно (1.3) эффект затухания зависит не только от \underline{Z}_L но и от полных сопротивлений \underline{Z}_0 и \underline{Z}_S .

1.4 Конструктивные элементы для построения сетевых помехоподавляющих фильтров

Принципиально сетевые помехоподавляющие фильтры состоят из различных поперечных емкостей и продольных индуктивностей (фильтры нижних частот).

Учитывая относительно высокие рабочие напряжения и токи, а также исходя из аспектов надежности приборов были созданы

специальные конструктивные элементы для построения сетевых фильтров, которые рассматриваются далее.

X-конденсаторы (рисунок 1.4). Радио-помехозащитные конденсаторы класса «X» подключаются между фазовым и нейтральным проводами, и поэтому расположены параллельно к напряжению сетевого энергоснабжения. К этим конденсаторам предъявляются особо высокие требования по импульсной прочности (прочности к напряжению), устойчивости к старению и воспламеняемости.

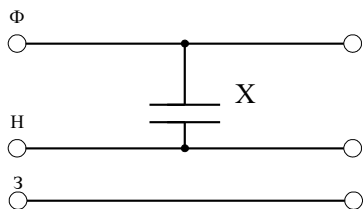


Рисунок 1.4 – Схема включения X-конденсатора

X-конденсаторы подразделяются на три категории с обозначениями X1, X2, X3.

X1-конденсаторы выполнены для ненадзираемой длительной работы и имеют импульсную прочность 4 кВ.

X3-конденсаторы имеют меньшую импульсную прочность и используются в приборах, которые находятся во время работы у питающей сети, как, например электробритвы, электроинструмент и т.д.

X2-конденсаторы по своим характеристикам находятся между конденсаторами классов X1 и X3.

В общем X-конденсаторы служат для снижения симметричных напряжений помех. Значение емкостей X-конденсаторов лежат в пределах от 0,02 мкФ до нескольких микрофарад.

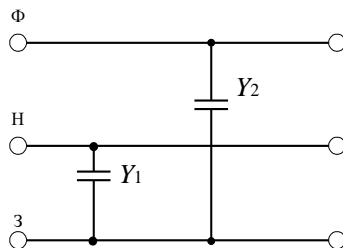
У определенных приборов с первичным размыканием сети параллельно X-конденсаторам необходимо подключать высокоомное сопротивление (около 1 МОм), посредством которого снижается возможный остаточный заряд конденсатора после отключения сетевого напряжения.

Y- конденсаторы (рисунок 1.5). Радио - помехозащитные конденсаторы класса «Y» ,в зависимости от обстоятельств, подключаются между сетевым (фазный или нейтральный) и

защитным проводами. Y-конденсаторы должны удовлетворять высоким требованиям по электрической и механической прочности. Y-конденсаторы подавляют в первую очередь асимметричные напряжения помех.

Через конденсаторы, включенные между проводами сети и, как правило, заземленным корпусом прибора ($Y1$ и $Y2$ на рисунке 1.5), в нормальном режиме протекает ток. Разрыв защитного провода или дефект его изоляции может привести к появлению на корпусе прибора опасного потенциала и поражению пользователя электрическим током. По этой причине в зависимости от емкости этих конденсаторов задается максимальный ток утечки между фазовым и защитным, а так же между нейтральным и защитным проводам, лежащий в пределе 0,75 – 3 мА.

Рисунок 1.5 – Схема включения Y-конденсаторов



Простая и сдвоенная продольная индуктивность (рисунок 1.6). Продольные индуктивности представляют собой простую или сдвоенные дроссели с продольными или торroidальными сердечниками.

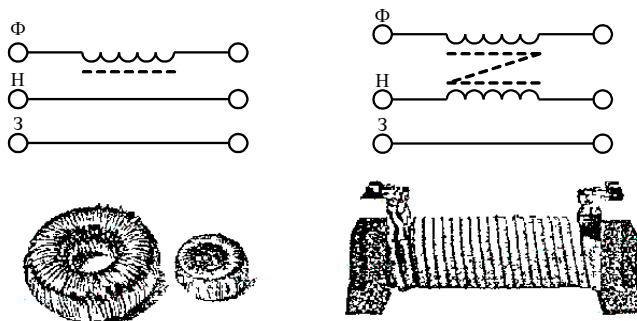


Рисунок 1.6 – Продольные индуктивности

В качестве сердечников используются порошковые сердечники с так называемым «распределенным воздушным зазором», благодаря чему гарантируется, что при больших токах сердечник дросселя не насыщается, что имеет особое значение для подавления помех.

Сдвоенный дроссель состоит из двух отдельных обмоток расположенных на одном торроидальном или стержневом сердечнике.

В соответствии с исполнением и типом дроссели выпускаются с индуктивностью от нескольких мкГн до нескольких мГн.

Тококомпенсирующий дроссель (рисунок 1.7).

Тококомпенсирующий дроссель - один из наиболее часто применяемых элементов в помехоподавляющих сетевых фильтрах. Конструктивно он состоит из сердечника (чаще торроидального) с двумя обмотками с одинаковым числом витков, намотанных компенсирующе (бифилярно). При прохождении тока через дроссель обе обмотки создают равные, но противоположные по направлению магнитные поля (потоки), благодаря чему дроссель имеет минимальную индуктивность, а, следовательно, и сопротивление полезному сигналу (питающему току). При асимметричных напряжениях помех дроссель будет иметь достаточно большую индуктивность, а, следовательно, будет оказывать большое сопротивление напряжению помехи.

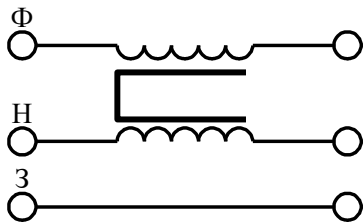


Рисунок 1.7- Схема включения тококомпенсирующего дросселя

Дроссель защитного провода (рисунок 1.8). Дроссель защитного провода используется для подавления асимметричных токов помех, которые распространяются на защитный провод. При использовании этого элемента особенно следует обратить внимание на его надежное электрическое соединение, чтобы не повлиять на электробезопасность прибора.

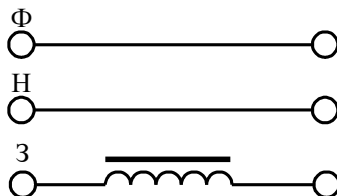


Рисунок 1.8 – Схема включения дросселя защитного провода

1.5 Конструкции сетевых помехоподавляющих фильтров

На рисунке 1.9 показана схема простого сетевого помехоподавляющего фильтра. Она состоит из X -конденсатора, двух Y -конденсаторов и тококомпенсирующего дросселя. Сопротивление R предназначено для быстрого разряда X -конденсатора с относительно большой емкостью. Если разряд этого конденсатора надежно происходит благодаря другим схемным решениям (подходящее расположение сетевого выключателя или разряд сам происходит через электроприемник), то разрядное сопротивление не требуется. Рассматриваемый фильтр подавляет помехи как со стороны сети, так и помехи от прибора.

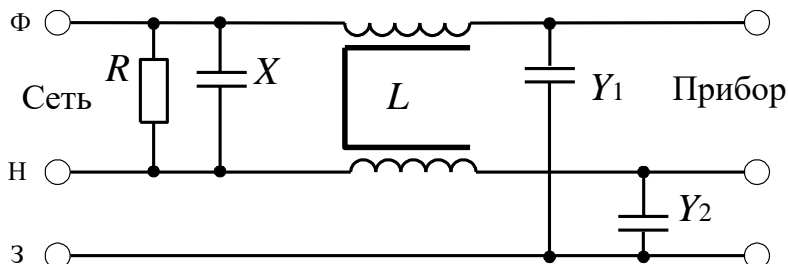


Рисунок 1.9 – Схема сетевого помехоподавляющего фильтра

Рассмотрим схему замещения этого фильтра при воздействии симметричной помехи (рисунок 1.10).

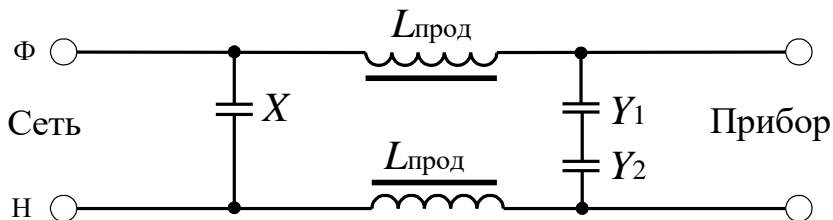


Рисунок 1.10 – Схема замещения сетевого помехоподавляющего фильтра (см. рисунок 1.9) при воздействии симметричных помех

Если со стороны сети действует симметричная помеха, то ограничивающее действие на нее оказывает X -конденсатор относительно большой емкости (оказывает шунтирующее действие). Как ток сети, так и ток помехи, проходя через тококомпенсирующий дроссель, создают одинаковые, но противоположные по направлению магнитные потоки в нем. Это приводит к уменьшению индуктивности дросселя (до малой паразитной индуктивности), благодаря чему он практически не оказывает сопротивления симметричной помехе.

Со стороны выхода происходит дальнейшее подавление помехи благодаря наличию Y -конденсаторов. Однако вследствие их относительно малой емкости (примерно 2,2 нФ) их ограничивающее действие оказывается не существенным.

Обобщая выше сказанное можно сделать вывод, что основное помехозащитное действие напряжениям симметричных помех, при указанной структуре фильтра, оказывает X -конденсатор, при чем его помехозащитные действие необходимо рассматривать во взаимодействии с паразитными сопротивлениями, например питающего провода.

Благодаря только незначительному действию тококомпенсирующего дросселя и Y -конденсаторов практически одинаково подавляются помехи как со стороны сети, так и со стороны прибора.

На рисунке 11 показана схема замещения сетевого фильтра при действии напряжения асимметричной помехи.

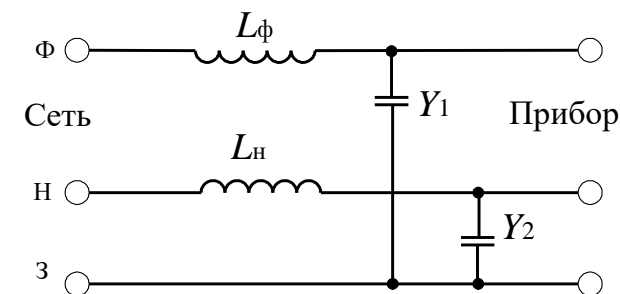


Рисунок 1.11 – Схема замещения сетевого фильтра

(см. рисунок 1.9) при воздействии асимметричной помехи.

Со стороны сети напряжение симметричной помехи эффективно подавляется прежде всего благодаря тококомпенсирующему дросселю, так как при воздействии помех этого вида, индуктивность дросселя максимальная. Эффективность помехоподавления асимметричных помех повышается благодаря включенным Y - конденсаторам. Если фильтр должен использоваться для снижения помех со стороны прибора, то Y -конденсаторы должны располагаться, как правило, со стороны сети.

Из рассмотренных схем замещения сетевого фильтра вытекают способы улучшения помехоподавления определенных видов помех. Если требуется повысить эффективность подавления симметричных помех, находящихся обычно в диапазоне частот ниже 500 кГц, можно использовать простые или сдвоенные продольные индуктивности. Дальнейшего улучшения можно так же достичь увеличением емкости X -конденсатора или использованием добавочного X -конденсатора. При асимметричных помехах, которые преимущественно лежат в диапазоне частот выше 500 кГц, эффективным является применение тококомпенсирующего дросселя. Увеличение помехоподавления может быть получено увеличением индуктивности этого дросселя или просто подключением двух таких дросселей.

Исходя из требований безопасности прибора часто нельзя увеличивать емкость Y -конденсаторов. По этой причине повышение эффективности подавления помех путем увеличения емкости Y -конденсаторов часто невозможно.

Эффективным средством для подавления асимметричных помех является использование дросселя защитного провода.

1.6 Измерение коэффициентов затухания сетевых фильтров

Для того чтобы оценить характер затухания сетевого помехоподавляющего фильтра и сравнить различные фильтры друг с другом следует провести испытания фильтра.

Коэффициент затухания в зависимости от конкретных условий может иметь сильно различающиеся значения для одного и того же фильтра. Один и тот же фильтр при различных условиях, т.е. в зависимости от значения и частотных характеристик полных

сопротивлений Z_Q и Z_S , (см. п.1.3) может вызывать сильно различающееся затухание. Поэтому практически невозможно задать общую характеристику фильтра независимо от конкретных условий, и значения коэффициента затухания фильтров относятся всегда к особому случаю системного согласования ($Z_Q = Z_S$) и к средним значениям Z_Q и Z_S , например 50, 60, 150 или 600 Ом. Соответствующие нормированные в международном масштабе схемы для измерения коэффициента затухания $a_e(f)$ приведены на рисунке 1.12.

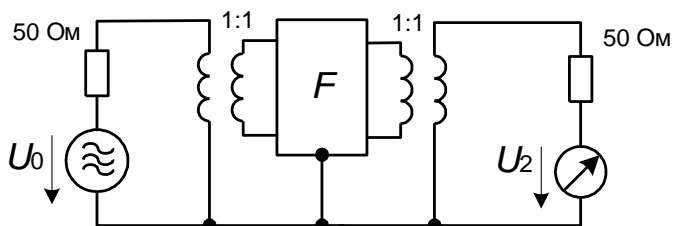


Рисунок 1.12 – Схема для измерения симметричного коэффициента затухания сетевых фильтров

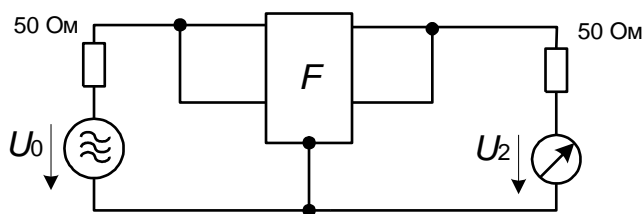


Рисунок 1.13 – Схема для измерения асимметричного коэффициента затухания сетевых фильтров

Паспортные данные о коэффициенте затухания $a_e(f)$ можно использовать лишь при конкретных обстоятельствах, а именно в виде показателя качества при изготовлении фильтра или как характеристику при сравнении фильтров одинаковой конструкции, поставляемых различными изготовителями, а также при анализе фильтрового действия в сопоставимых схемах. Во всех случаях фактическая эффективность определяется лишь экспериментально или же расчетным путем, если точно известно соотношение полных

сопротивлений Z_O и Z_S .

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить теоретические сведения по данному пособию и рекомендуемой преподавателем литературе.

2 По прилагаемым образцам наглядно ознакомиться с конструктивным исполнением различных вариантов сетевых помехоподавляющих фильтров и способов их монтажа в источниках вторичного электропитания устройств ЖАТС.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности (преимущества и недостатки) заданного преподавателем сетевого фильтра (компонента сетевого фильтра).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Наименование и цель работы, принципиальная схема и описание заданного типа сетевого фильтра (компонента сетевого фильтра), ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы, выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Для чего предназначены сетевые помехоподавляющие фильтры.

2 В чем заключается принцип действия сетевых фильтров.

3 Какие существуют виды напряжений помех.

4 Дайте определение коэффициенту затухания.

5 Какие элементы используются при построении сетевых фильтров.

6 Чем отличаются конструктивные элементы сетевых фильтров от обычных радиоэлектронных элементов.

7 Какие требования предъявляются к конденсаторам сетевых фильтров.

8 Для каких целей и как применяются X -конденсаторы.

9 Для каких целей и как применяются Y -конденсаторы.

10 Объясните принцип действия тококомпенсирующего дросселя.

11 Чем ограничивается емкость Y -конденсаторов.

12 В чем заключается помехозащитное действие дросселя защитного провода.

13 Объясните принцип работы простейшего сетевого фильтра.

14 Какие способы повышения эффективности помехоподавления в сетевых фильтрах вы знаете.

15 Как можно измерить коэффициент затухания сетевого фильтра.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ ИЕС СЕРИИ 61000-400

Ц е л ь р а б о т ы . Изучить технические требования и методы испытаний стандартов ИЕС (МЭК) 61000-400: ИЕС 61000-402, -404, -405, -408, -409, -411.

1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Область распространения и цель

Стандарты серии 61000-400 являются нормативно - техническими документами в области электромагнитной совместимости в части испытаний на устойчивость к воздействию электромагнитных помех.

Стандарты распространяются на низковольтное электрическое и электронное оборудование, аппаратуру и системы (далее *в тексте – ТС*), которые в условиях эксплуатации подключаются к сетям электропитания, линиям управления и передачи информации и находятся под воздействием кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех.

Стандарты распространяются на вновь разрабатываемые, изготавливаемые и импортируемые ТС.

Стандарты устанавливают общие положения по выбору видов и степеней жесткости испытаний ТС различного назначения на помехоустойчивость (далее в тексте – испытания), а также номенклатуру видов испытаний.

Стандарты не распространяются на ТС, устанавливаемые на подвижных объектах.

Целью стандартов – дать техническим комитетам по стандартизации, пользователям и производителям ТС сведения, касающиеся требований к помехоустойчивости и видов испытаний.

Некоторые из терминов, применяемых в стандартах серии 61000-400 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Терминология

Термин	Пояснение
Электромагнитная помеха	Электромагнитный процесс, который ухудшает или может ухудшить качество функционирования технического средства (ТС)
Уровень электромагнитной совместимости	Регламентированный максимальный уровень электромагнитной помехи, которая, как ожидается, будет действовать на ТС в конкретных условиях.
Устойчивость к помехе (помехоустойчивость)	Способность ТС сохранять требуемое качество функционирования при воздействии на них электромагнитных помех с регламентированными значениями параметров.
Уровень помехоустойчивости	Максимальный уровень электромагнитной помехи, воздействующей на ТС, при котором оно сохраняет требуемое качество работы
Электромагнитная восприимчивость	Неспособность ТС функционировать без ухудшения качества в присутствии электромагнитных помех
Степень жесткости	Значение влияющей электромагнитной величины, установленное для испытания на помехоустойчивость
Переходный процесс	Явление или величина, изменяющаяся между двумя установившимися состояниями за интервал времени, короткий по сравнению, с полной рассматриваемой шкалой времени
Импульс напряжения	Переходный процесс напряжения, характеризующийся быстрым нарастанием, за которым следует более медленный спад. <i>Примечание.</i> Временными параметрами импульса напряжения являются: время нарастания между 10 и 90% амплитуды; длительность на уровне 50 % амплитуды между нарастанием и спадом
Линии питания	Линии, отходящие от источника питания (переменного или постоянного тока)
Линии управления	Линии, предназначенные для управления, сигнализации и измерений
Напряжение общего вида	Напряжение между каждым из проводников и установленным эталоном, обычно землей или металлическим листом
Напряжение дифференциально го вида	Напряжение между любыми двумя проводниками из заданной группы активных проводников

1.2 Основные положения

1.2.1 Электромеханические устройства и приборы производственного и культурно-бытового назначения были в основном мало чувствительными к воздействию электромагнитных помех. Такая чувствительность главным образом была связана с «низкочастотными» явлениями, прежде всего гармониками и перерывами питания.

Электронные компоненты и оборудование, применяемые в настоящее время, являются более чувствительными к помехам, особенно к «высокочастотным» и «переходным» воздействиям. Широкое применение электронных компонентов и оборудования повысили опасность и значение нарушения функционирования и повреждений ТС, которые могут возникать в результате воздействия помех.

Для того чтобы исключить или уменьшить опасность воздействия указанных факторов комитета по стандартизации, пользователи и производители должны установить уровни устойчивости к воздействию помех различного вида (далее в тексте – уровни помехоустойчивости) и разработать соответствующие методы испытаний.

Виды, степени жесткости испытаний и критерии качества функционирования ТС при испытаниях должны быть выбраны техническими комитетами по стандартизации, пользователями или производителями ТС и установлены в стандартах и (или) ТУ на конкретные ТС.

1.2.2 Требования настоящих стандартов применимы к ТС, подключаемым:

- к низковольтным электрическим сетям общего назначения жилых, общественных и коммерческих зданий;
- к низковольтным промышленным электрическим сетям;
- к низковольтным линиям управления в общественных и промышленных зданиях (включая помещения для установки контрольно-управляющей аппаратуры);
- к низковольтным силовым электрическим сетям и линиям управления на электростанциях (включая помещения для установки контрольно-управляющей аппаратуры);
- к линиям передачи информации.

Требования настоящего стандарта установлены для кондуктивных и излучаемых помех, проявляющихся в виде электрических, магнитных, электростатических и электромагнитных помех:

- низкочастотных (включая постоянный ток и помехи с частотой до 10 – 20 кГц);
- высокочастотных (до нескольких сотен мегагерц, применительно к излучаемым помехам – до нескольких гигагерц);
- переходных процессов с длительностью от нескольких наносекунд до нескольких миллисекунд.
- Помехи возникают в результате:
 - влияния искажающей нагрузки (включая нелинейную и резко переменную);
 - коммутационных явлений и повреждений в сетях, линиях и в ТС;
 - атмосферных явлений (например, молний);
 - статического электричества;
 - работы радиопередающих устройств.

1.3 Условия эксплуатации

В настоящем разделе указаны специфические условия электромагнитной обстановки и особенности установки ТС на месте эксплуатации.

1.3.1 Кондуктивные низкочастотные помехи в низковольтных силовых электрических сетях.

Для данного вида помех необходимо принимать во внимание электромагнитную обстановку, характерную для:

- распределительных электрических сетей общего назначения с низким уровнем помех;
- распределительных электрических сетей с высоким уровнем помех;
- сетей на электростанциях.

1.3.2 Кондуктивные переходные и высокочастотные помехи.

Уровень помех зависит от наличия источников помех и от таких условий установки ТС на месте эксплуатации, как экранирование, заземление, защита от перенапряжений и т.д.

1.3.3 Электростатические помехи

Уровень помех зависит от условий установки ТС (в основном, от типа покрытия пола в помещении) и от влажности воздуха.

1.3.4 Магнитные помехи

Уровень помех зависит от токов, протекающих в проводниках, расположенных вблизи ТС, расстояния между ними и наличия в непосредственной близости магнитных материалов.

1.3.5 Радиочастотные электромагнитные помехи

Уровень помех зависит от мощности радиопередатчиков и расстояний их от ТС.

1.4 Выбор видов испытаний

При выборе видов испытаний для конкретных ТС учитывают:

- условия эксплуатации;
- требуемые надежность и режимы работы;
- экономические ограничения.

В связи с разнообразием ТС, различием требований к ним и условий эксплуатации невозможно указать точные правила выбора видов испытаний.

Виды испытаний указаны применительно к ТС:

- подключаемым к электрическим сетям общего назначения;
- для бытового или коммерческого применения, когда допустим низкий уровень требований к помехоустойчивости;
- для применения производителями энергии, при этом в связи с их особыми функциями и длительным периодом функционирования ТС без обслуживания могут иметь более высокие требования к помехоустойчивости;
- подключаемым к промышленным сетям, где может ожидать высокий уровень помех;
- устанавливаемым на электростанциях (например, трансформаторных подстанциях среднего и высокого напряжения), где из-за коммутаций силового оборудования и коротких замыканий может быть чрезвычайно высокий уровень помех.

Испытания проводят для:

- серийно выпускаемых ТС – при сертификационных, периодических и типовых испытаниях;

- разрабатываемых ТС – при приемочных испытаниях;
- импортируемых ТС – при сертификационных испытаниях.

1.5 Выбор степеней жесткости испытаний

Для большинства видов испытаний устанавливают несколько степеней жесткости. В связи с разнообразием ТС и различием их условий эксплуатации невозможно установить точные правила выбора степеней жесткости испытаний в каждом конкретном случае.

При выборе степеней жесткости испытаний необходимо учитывать:

- условия электромагнитной обстановки, определяющие уровни помех;
- требования потребителя к надежности ТС;
- экономические ограничения (выбор высоких степеней жесткости испытаний может привести к снижению экономичности ТС).

Указанные факторы должны рассматриваться во взаимосвязи, так как они могут оказывать противоположное воздействие на выбор степени жесткости.

1.6 Оценка результатов испытаний

При испытаниях ТС на помехоустойчивость применяют критерии качества функционирования, указанные в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Критерии качества функционирования ТС при испытаниях	Качество функционирования ТС при испытаниях
<i>A</i>	Нормальное функционирование с параметрами в соответствии с техническими условиями
<i>B</i>	Кратковременное нарушение функционирования или ухудшение параметров с последующим восстановлением нормального функционирования без вмешательства оператора
<i>C</i>	Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее для восстановления нормального функционирования вмешательства оператора

D	Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее ремонта из-за выхода из строя оборудования или компонентов
----------	---

Критерии качества функционирования А, В или С при испытаниях ТС, а также порядок оценки результатов испытаний должны быть установлены в стандартах и (или) ТУ на ТС конкретного типа.

1.7 Условия проведения испытаний

1.7.1 Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях, если иные требования не оговорены в стандартах или ТУ на ТС.

1.7.2 При испытаниях ТС на устойчивость к помехам конкретного вида другие помехи, которые могут действовать в месте испытаний, не должны оказывать влияния на качество функционирования ТС.

1.7.3 При проведении испытаний ТС должно функционировать непрерывно в режиме, установленном в технической документации на ТС, и обеспечивающем наибольшую восприимчивость к воздействию помех.

1.7.4 При испытаниях ТС на устойчивость к одновременному воздействию помех нескольких видов должно быть выбрано сочетание уровней воздействующих помех, приводящее к наибольшей восприимчивости ТС к воздействию помех.

1.7.5 Воздействие помех на ТС в ходе испытаний не должно оказывать влияния на функционирование ТС, не подвергаемых испытаниям.

1.7.6 При проведении испытаний должна быть обеспечена безопасность персонала, проводящего испытания.

1.8 Краткие описания испытаний

1.8.1 Испытания на устойчивость к провалам напряжения и кратковременным перерывам питания

1.8.1.1 Цель испытаний

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к провалам напряжения и кратковременным перерывам питания.

1.8.1.2 Область применения

На устойчивость к воздействию динамических изменений напряжения могут испытываться ТС, подключаемые к низковольтным распределительным электрическим сетям переменного тока (*напряжением не более 1000 В*).

Испытания проводят в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61000-411 (СТБ ГОСТ Р 51317.4.11).

1.8.1.3 Испытательное воздействие

Испытательное воздействие представляет собой ступенчатое изменение напряжения питания ТС относительно установившегося уровня (рисунок 2.1).

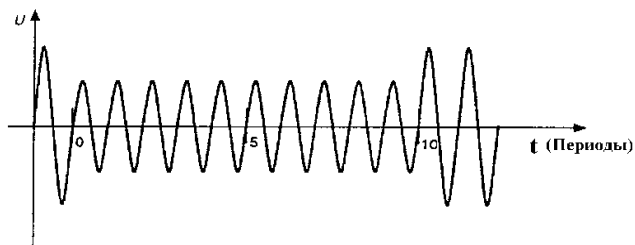


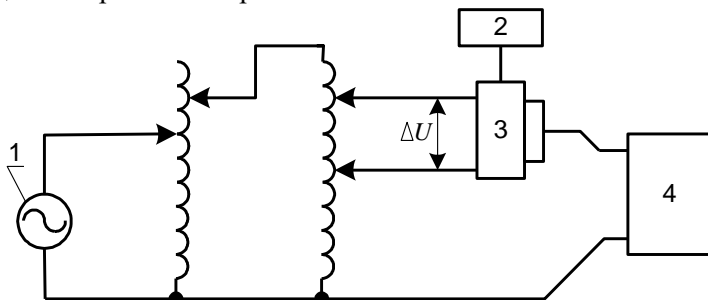
Рисунок 2.1 – Вариант динамических изменений напряжения

Величина изменения должна составлять не менее 30 % от $U_{\text{ном}}$.

1.8.1.4 Испытательное оборудование

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.2.

Изменения напряжения должны возникать при переходе питающего напряжения через ноль.



1 – источник питания; 2 – управление; 3 – коммутирующее устройство;

4 – испытуемое техническое средство (ИТС)

Рисунок 2.2 – Упрощенная схема испытательного генератора колебаний напряжения

1.8.1.5 Степени жесткости испытаний

Рекомендуется устанавливать испытательные значения:

- глубины провалов напряжения – 30 и 50%;
- длительности провалов напряжения – 0,5 с;
- глубины прерываний напряжения – 100 %;
- длительности прерываний напряжения – 1; 10; 20 (100) мс; 0,5; 30 (60) с.

Длительности испытательного воздействия выбирают применительно к ТС конкретного типа.

1.8.1.6 Особенности проведения испытаний

При испытаниях ТС, подключаемых к трехфазной сети электропитания, необходимо воздействовать провалами и прерываниями напряжения на три фазы одновременно, на две фазы и на одну фазу.

Кроме того, для имитации помех, действующих в определенных сетях электропитания, целесообразно проводить испытания с циклом из двух следующих друг за другом провалов напряжения, интервал времени между которыми меняется.

1.8.2 Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии (импульсам напряжения/тока длительностью 1/50 и 6,4/16 мкс соответственно)

1.8.2.1 Цель испытаний

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к микросекундным импульсным помехам большой энергии, образуемым переходными процессами от молниевых разрядов и различного рода переключений.

1.8.2.2 Область применения

На устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии могут испытываться ТС, подключаемые к электрическим сетям общего назначения, промышленным сетям и устанавливаемые на электростанциях.

Испытания проводят в соответствии с требованиями стандарта

МЭК 61000-405 (СТБ ГОСТ Р 51317.4.5).

1.8.2.3 Испытательное воздействие

Испытательный импульс должен иметь характеристики:

- на ненагруженном выходе испытательного генератора (импульс напряжения) – длительность импульса 1/50 мкс, форма импульса приведена на рисунке 2.3;

- на короткозамкнутом выходе испытательного генератора (импульс тока) – длительность импульса 6,4/16 мкс форма импульса приведена на рисунке 2.4

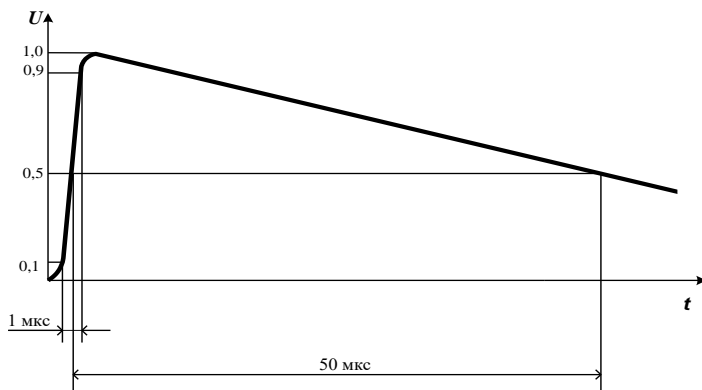


Рисунок 2.3 – Форма импульса напряжения длительностью 1/50 мкс на ненагруженном выходе испытательного генератора

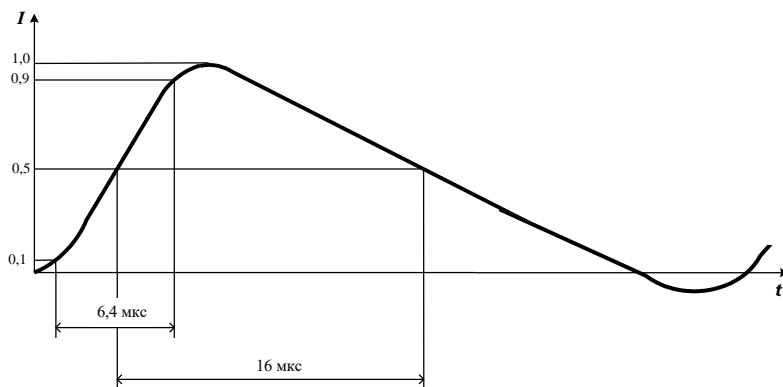
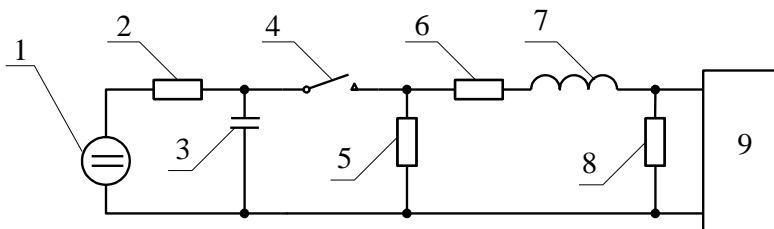


Рисунок 2.4 – Форма импульса тока длительностью 6,4/16 мкс

на короткозамкнутом выходе испытательного генератора

1.8.2.4 Испытательное оборудование

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.5.



1 – источник высокого напряжения; 2 – зарядный резистор; 3 – зарядный конденсатор; 4 – коммутирующий ключ; 5, 8 – резисторы цепи формирования длительности импульса; 6 – резистор, определяющий внутреннее сопротивление испытательного генератора, 7 – индуктивность цепи формирования длительности фронта импульса; 9 – ИТС

Рисунок 2.5 – Упрощенная схема испытательного генератора микросекундных импульсных помех большой энергии

Параметры схемы выбирают таким образом, чтобы испытательный генератор создавал импульс напряжения $1/50$ мкс при холостом ходе и импульс тока $6,4/16$ мкс на короткозамкнутом выходе и чтобы эффективное внутреннее сопротивление генератора равнялось 2 Ом. Характеристики генератора должны быть следующими:

- амплитуда импульсов напряжения на выходе ненагруженного генератора – $0,5 - 4,0$ кВ;
- амплитуда импульсов тока на короткозамкнутом выходе генератора – $0,25 - 2$ кА;
- полярность – положительная и отрицательная;
- сдвиг по фазе по отношению к переменному напряжению в сети электропитания – $0 - 360^\circ$;
- период следования – не менее 1 мин.

Для увеличения эффективного внутреннего сопротивления генератора должно быть предусмотрено подключение добавочных резисторов 10 и 40 Ом.

Испытательное оборудование содержит также устройства связи

– развязки для подачи испытательных импульсов на цепи электропитания, цепи ввода – вывода и исключения нежелательного воздействия испытательного генератора на другие ТС.

Применяют устройства связи емкостного, индуктивного тока и с использованием разрядников.

1.8.2.5 Степени жесткости испытаний

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.3

Таблица 2.3

Степень жесткости	Амплитуда импульса напряжения на ненагруженном выходе испытательного генератора, кВ, ±10%
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0
*	По согласованию между производителем и потребителем

1.8.2.6 Особенности проведения испытаний

Испытания проводят пять раз с каждой полярностью испытательного импульса в разном положении импульса по отношению к фазе сетевого напряжения. Время между испытательными импульсами должно быть достаточным для восстановления устройств защиты ТС. Испытания проводят в условиях испытательных лабораторий.

1.8.3 Испытания на устойчивость к наносекундным импульсным помехам (импульсам напряжения длительностью $n \cdot 50$ нс, где n – число импульсов)

1.8.3.1 Цель испытаний

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к помехам в виде пачек наносекундных импульсов, возникающим в цепях электропитания и в цепях ввода – вывода в результате процессов коммутации.

1.8.3.2 Область применения

На устойчивость к воздействию наносекундных импульсных помех могут испытываться ТС, подключаемые к электрическим сетям общего назначения, промышленным сетям и устанавливаемые на электростанциях. Испытания проводят в соответствии с требованиями МЭК 61000-404 (СТБ ГОСТ Р

51317.4.4).

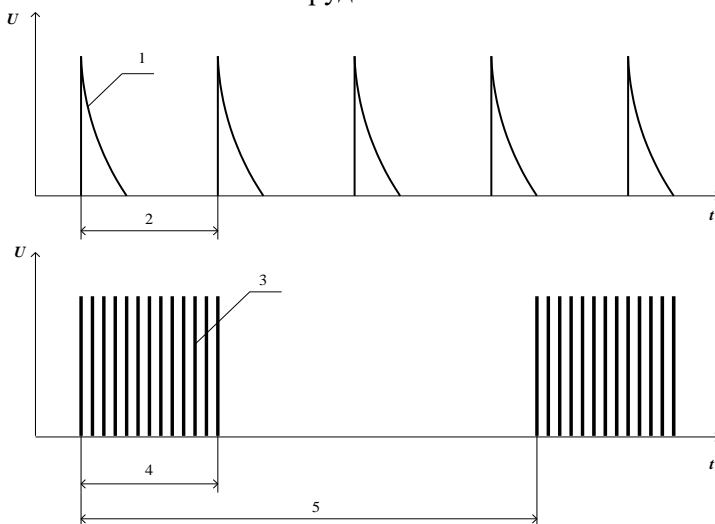
1.8.3.3 Испытательное воздействие

Испытания проводят с повторяющимися пачками испытательных импульсов (рисунок 2.6) с характеристиками:

- длительность фронта импульса – $5\text{нс} \pm 30\%$;
- длительность импульса – $50\text{нс} \pm 30\%$;
- частота повторения – $5\text{кГц} \pm 20\%$ или $2,5\text{кГц} \pm 20\%$;
- длительность пачки – $15\text{мс} \pm 20\%$;
- период следования пачек – $300\text{мс} \pm 20\%$;

Форма испытательного импульса на нагрузке 50 Ом приведена на рисунке 2.7.

1.8.3.4 Испытательное оборудование



1 – импульс; 2 – период повторения импульсов; 3 – пачка импульсов; 4 – длительность пачки импульсов (15 мс); 5 – период повторения пачек импульсов (300 мс)

Рисунок 2.6 – Пачки испытательных наносекундных импульсов

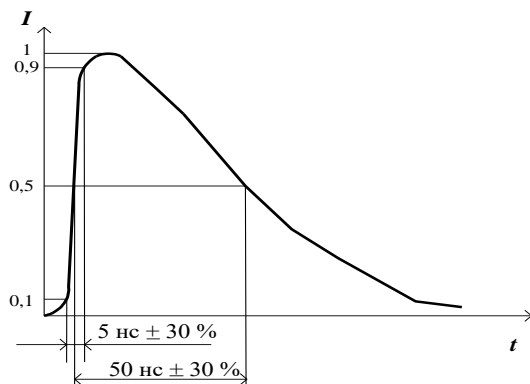
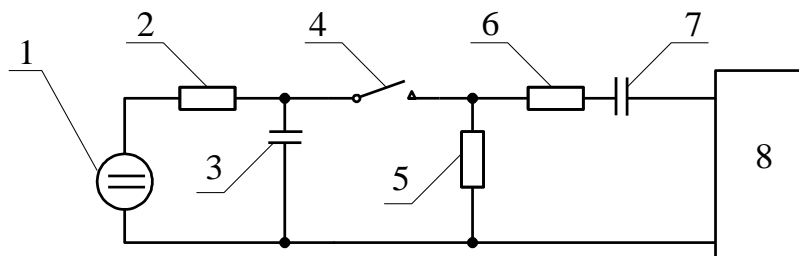


Рисунок 2.7 – Форма испытательного наносекундного импульса

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.8.



1 – источник высокого напряжения; 2 – зарядный резистор; 3 – накопительный конденсатор; 4 – разрядник; 5 – резистор цепи формирования длительности импульса; 6 – согласующий резистор; 7 – разделительный конденсатор; 8 – ИТС

Рисунок 2.8 – Упрощенная схема генератора наносекундных импульсных помех

Выходное напряжение ненагруженного генератора должно составлять от 0,25 кВ -10 % до 4 кВ+10 %.

Характеристики испытательного генератора при работе на нагрузку 50 Ом должны быть следующими:

- максимальная энергия импульса при напряжении 2 кВ – 4 мДж;
- полярность импульсов – положительная и отрицательная;

- вид выходного соединителя – коаксиальный;
- внутреннее сопротивление в диапазоне частот 1 – 100 МГц – $50 \text{ Ом} \pm 30\%$;

Испытательное оборудование содержит также устройство связи развязки для цепей электропитания постоянного и переменного тока и емкостные клещи связи.

1.8.3.5 Степени жесткости испытаний

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.4.

Таблица

Степень жесткости	Амплитуда импульсов выходного испытательного напряжения ненагруженного генератора, кВ	
	цепи силового электропитания	сигнальные цепи ввода-вывода
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
*	По согласованию между потребителем и производителем	

1.8.4 Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам

1.8.4.1 Цель испытаний

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к воздействию электростатических разрядов, возникающих при прикосновении к ТС операторов и между объектами, находящимися вблизи ТС.

1.8.4.2 Область применения

На устойчивость к воздействию электростатических разрядов могут испытываться ТС всех типов, подключаемые к электрическим сетям общего назначения, промышленным сетям и устанавливаемые на электростанциях. Испытания проводят в соответствии с требованиями МЭК 61000-402 (СТБ ГОСТ Р 51317.4.2).

1.8.4.3 Испытательное воздействие

Испытательное воздействие представляет собой импульс тока с регламентированными параметрами, возникающий между испытательным генератором и ИТС при их контакте (контактный разряд) или сближении (воздушный разряд). Форма импульса разрядного тока приведена на рисунке 2.9.

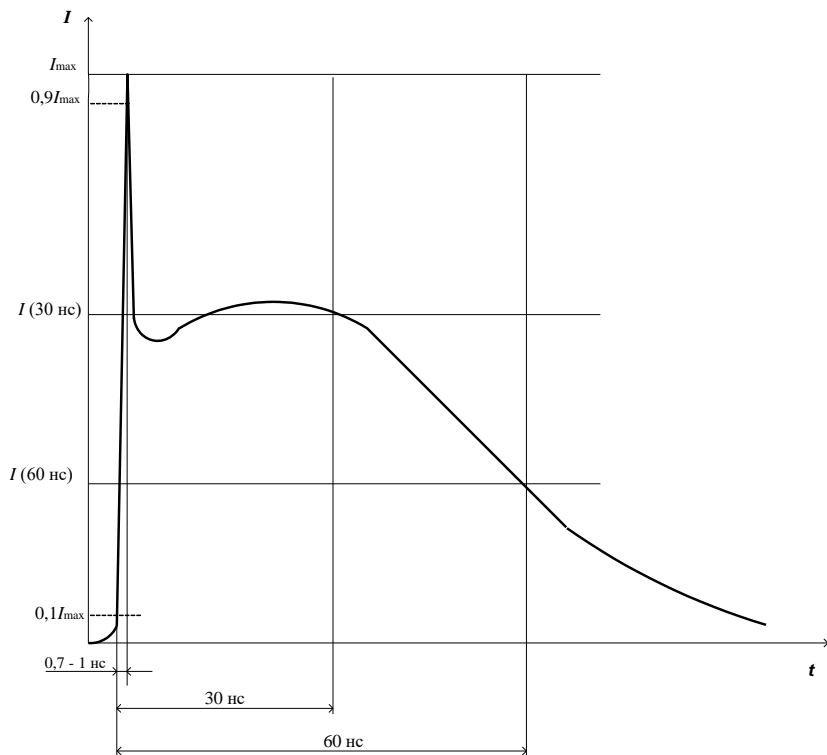
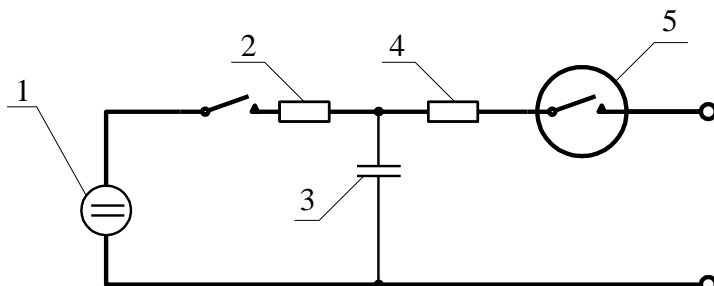


Рисунок 2.9 – Форма импульса разрядного тока
испытательного генератора электростатических разрядов

Основным методом испытаний является метод контактного разряда. Методом воздушного разряда пользуются в случаях, когда невозможно применить контактный разряд.

1.8.4.4 Испытательное оборудование

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.10.



1 – источник высокого напряжения; 2 – зарядный резистор; 3 – зарядный конденсатор; 4 – разрядный резистор; 5 – разрядный ключ

Рисунок 2.10 – Упрощенная схема испытательного генератора электростатических разрядов

Характеристики испытательного генератора должны быть следующими:

- общая емкость генератора – $150 \text{ пФ} \pm 10\%$;
- разрядное сопротивление – $330 \text{ Ом} \pm 5\%$;
- испытательное напряжение:
 - контактный разряд – не более 8 кВ ,
 - воздушный разряд – не более 15 кВ ;
- полярность выходного напряжения – положительная и отрицательная;
 - вид разряда – одиночные разряды (время между разрядами не менее 1 с).

1.8.4.5 Степени жесткости испытаний

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Степень жесткости	Испытательное напряжение, кВ	
	Контактный разряд	Воздушный разряд
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
5	По согласованию между потребителем и производителем	

1.8.4.6 Особенности проведения испытаний

Разряды производят только на те точки и поверхности ИТС, которые доступны персоналу при эксплуатации ИТС (включая кабели электропитания и ввода-вывода). Разряды, возникающие между объектами, находящимися вблизи ИТС, имитируют при испытаниях контактными разрядами на плоскости связи.

1.8.5 Испытания на устойчивость к магнитному полю с частотой питающей сети

1.8.5.1 Цель испытания

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к магнитному полю, вызванному протеканием токов сетевой частоты в близко расположенных проводниках.

1.8.5.2 Область применения

На устойчивость к воздействию магнитного поля с частотой сети могут испытываться ТС бытового и промышленного назначения, а также ТС, устанавливаемые на подстанциях среднего и высокого напряжения.

Испытания проводят в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61000-408 (СТБ ГОСТ Р 50648).

1.8.5.3 Испытательное воздействие

Испытательное магнитное поле должно иметь установленную величину напряженности, быть свободным от гармоник и однородным (при отсутствии ИТС).

1.8.5.4 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование состоит из индукционной катушки, источника тока и вспомогательных измерительных приборов. Используют три типа индукционных катушек:

- одиночную индукционную катушку квадратной формы (рисунок 2.11) со стороной стандартной длины, равной 1 м, – для испытаний ТС малых размеров;

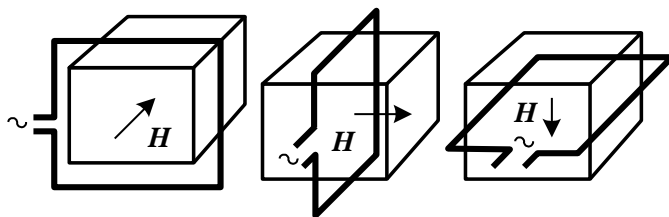


Рисунок 2.11 – Индукционная катушка для испытаний ТС малого размера на устойчивость к магнитным полям

- катушку Гельмгольца квадратной формы со стандартными размером сторон $a = 1$ м и расстоянием между сторонами $b = 0,6$ м (рисунок 2.12) для испытаний ТС малых размеров, но с бóльшим, по сравнению с одиночной катушкой, испытательным объемом;

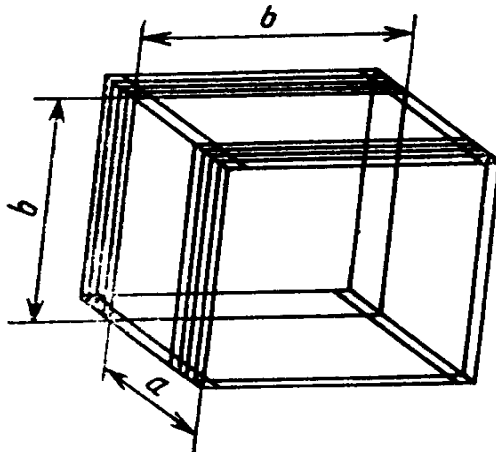


Рисунок 2.12 – Катушка Гельмгольца для испытаний ТС малого размера на устойчивость к магнитным полям

- усложненную одиночную индукционную катушку – для испытания ТС больших размеров (рисунок 2.13).

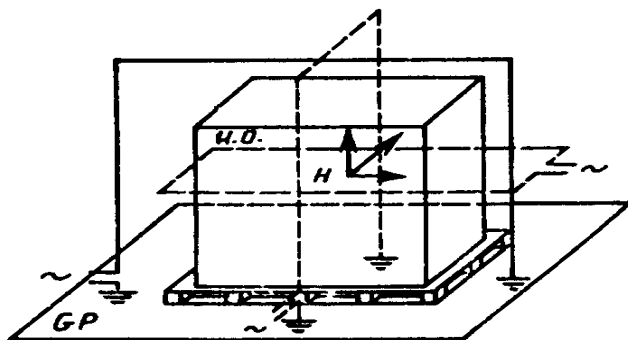


Рисунок 2.13 – Индукционная катушка для испытаний ТС значительного размера на устойчивость к магнитным полям

Индукционная катушка может быть сконструирована в соответствии с размерами испытуемого ТС. Напряженность испытательного магнитного поля в рабочем объеме не должна отличаться от номинального значения более чем на 3 дБ.

Источник тока должен обеспечивать испытания ТС на устойчивость к магнитному полю постоянной напряженности и к кратковременному (длительностью 1 – 3 с) магнитному полю большой интенсивности. Источник тока подключают к той же сети электропитания, что и ИТС.

1.8.5.5 Степени жесткости испытаний

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Степень жесткости	Напряженность магнитного поля, А/М	
	Магнитное поле постоянной	Кратковременное магнитное поле (длительность 1-3 с)
1	1	-
2	3	-
3	10	-
4	30	300
5	100	1000
*	По согласованию между потребителем и производителем	

1.8.5.6 Особенности проведения испытаний

Испытания проводят в условиях испытательной лаборатории.

1.8.6 Испытания на устойчивость к импульсному магнитному полю

1.8.6.1 Цель испытания

Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к магнитным полям, возникающим в результате молниевых разрядов и коротких замыканий в сетях электропитания.

1.8.6.2 Область применения

На устойчивость к воздействию импульсного магнитного поля сети могут испытываться ТС, устанавливаемые на электростанциях.

Испытания проводят в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61000-409 (ГОСТ 30336).

1.8.6.3 Испытательное воздействие

При испытаниях применяют магнитное поле, создаваемое в индукционной катушке при протекании импульса тока стандартной формы длительностью 8/20 мкс (см. рисунок 2.4).

1.8.6.4 Испытательное оборудование

Применяют индукционные катушки, характеристики которых приведены в п. 1.8.5.4.

1.8.6.5 Степени жесткости испытаний

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Степень жесткости	Максимальная напряженность магнитного поля, А/м
1	Не испытывают
2	Не испытывают
3	100
4	300
5	1000
6	По согласованию между потребителем и производителем

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить теоретические сведения по техническим требованиям и методам испытаний технических средств, используя данное пособие и рекомендуемую преподавателем литературу.

2 Ознакомиться с примерами реализации требований к организации рабочих мест в испытательной лаборатории.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности заданного преподавателем для детального изучения стандарта.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1 Наименование и цель работы.

2 Схемы испытательного генератора и форма испытательного импульса для заданного преподавателем стандарта.

3 Описание цели испытаний, области применения, испытательного воздействия, оборудования, степеней жесткости и особенностей проведения испытаний для того же стандарта, что и в п.2.

4 Письменные ответы на контрольные вопросы, заданные преподавателем.

5 Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Область распространения и цель стандартов серии 61000-400.

2 Основные положения стандартов серии 61000-400.

3 Укажите условия эксплуатации, указанных в стандартах.

4 Опишите виды испытаний применительно к техническим средствам.

5 Что следует учитывать при выборе степеней жесткости испытаний.

6 Как осуществляется оценка результатов испытаний для стандартов серии 61000-400.

7 Каковы условия проведения испытаний технических средств по стандартам серии 61000-400.

8 Что понимают под электромагнитной восприимчивостью.

9 Что такое степень жесткости испытаний.

10 Что такое импульс напряжения, согласно ГОСТ.

11 Чем отличается напряжение дифференциального вида от напряжения общего вида.

12 Дайте определение уровня электромагнитной совместимости.

13 Дайте определение переходного процесса.

14 В чем заключается отличие линий питания от линий управления по ГОСТ.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СХЕМ ГРОЗОЗАЩИТЫ

Цель работы. Изучить основные параметры грозовых разрядов, их воздействие на радиоэлектронную аппаратуру и способы защиты радиоэлектронной аппаратуры ЖАТС от воздействия грозовых разрядов.

1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

На нашей планете одновременно существуют около 2000 гроз, вызывая около 100 разрядов молний ежесекундно. Атмосферные возмущения, вызываемые грозовой деятельностью, создают помехи радиосвязи и обостряют проблемы электромагнитной совместимости. На функционирование средств автоматизации может оказывать действие местная грозовая деятельность. В среднем в Европе число грозовых дней в году составляет от 15 до 35, а число ударов молнии, приходящихся на один квадратный километр площади, за год равно от 1 до 5.

Энергия канала разряда, составляющая примерно 10 Дж/м, вызывает акустическое (гром), термическое, световое, электромагнитное воздействия на окружающую среду. При этом могут происходить специфические повреждения объектов (разрушения, пожары) при непосредственных ударах в объект. В таблице 3.1 приводятся некоторые параметры разрядов молнии для равнинной местности.

Следует иметь в виду, что грозовые разряды, имеющие токи большого значения, возникают очень редко: токи 100 кА и более составляют всего 2% общего количества грозовых разрядов, а токи 150 кА и более – 0,5 %.

С точки зрения интенсивности воздействия молнии различают непосредственные или близкие удары и удаленные разряды (рисунок 3.1). При непосредственных и близких ударах молния ударяет в молниеприемники защищенных зданий, устройств,

соединенных, например кабелями низкого напряжения, линиями связи и управления. Рисунок 3.2 и таблица 3.2 дают представление о токах молнии и об их специфическом воздействии.

Таблица 3.1

Параметры разряда молнии	Наиболее часто встречающиеся значения	Зарегистрированное значение	
		наибольшее	наименьшее
Полярность	Отрицательная (до 80%)		
Токи молнии (амплитудные значения) , зарегистрированные в опорах, кА	До 20	200-300	0,5
Заряд, переносимый молнией, Кл	До 20	100	0,5
Длительность импульса тока молнии, мкс	10–30	100	Менее 10
Длительность фронта импульса тока молнии, мкс	1,5–10	80–90	Менее 1
Крутизна фронта импульса тока молнии, А/мкс	5000	50000	
Количество импульсов в разряде молнии	2–3	20	1
Продолжительность разряда молнии, с	0,2–0,6	1,33	–

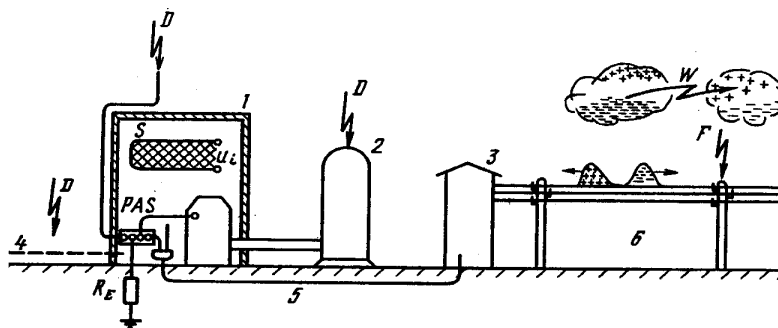


Рисунок 3.1 – Возможные воздействия молнии:

D – непосредственный удар; F – удаленный разряд; PAS – шина выравнивания потенциалов; R_g – сопротивление заземления (0,5-10 Ом); S – петля, образованная

проводами; W – разряд между облаками; I – защищаемый объект; 2 – часть защищаемого устройства; 3 – трансформаторная подстанция; 4 – кабель линий управления, связи; 5 – кабель низкого напряжения; 6 – воздушная линия электропередачи

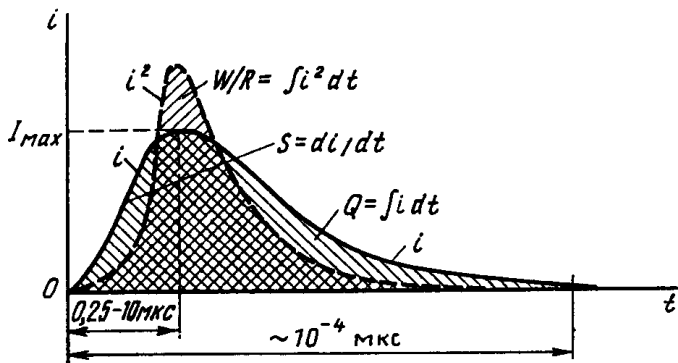


Рисунок 3.2 – Форма импульса тока молнии при разряде с облака на землю

В дополнение к этому на рисунке 3.3 приведены статистические данные о максимальном значении и крутизне токов молнии. При одной молнии могут наблюдаться до 10 таких импульсов тока, следующих друг за другом с интервалом от 10 до 100 мс. С точки зрения электромагнитной совместимости интерес представляет то обстоятельство, что при ударе молнии в заземляющее устройство его потенциал относительно удаленных точек земли может повыситься до миллиона вольт, и что, в петлях, образованных сигнальными кабелями и проводами связывающими различные объекты, в том числе и в линиях электроснабжения, передачи данных, могут, в зависимости от размеров петель и расстояний до места удара, индуцироваться напряжения от нескольких десятков вольт до многих сотен киловольт.

При удаленных ударах молнии, например при разрядах на линии среднего напряжения или при междуоблачных разрядах, индуцированные перед разрядом заряды на линиях электропередачи освобождаются. В этом случае вдоль линии с большой скоростью распространяется волна перенапряжения. При достижении подстанции, которая питает сеть низкого напряжения, перенапряжения ограничиваются либо электрической прочностью изоляции, либо остающимся напряжением защитных разрядников

до нескольких десятков киловольт.

Таблица 3.2 – Характеристики воздействия молнии на объект

Параметр	Максимальный ток I_{max}	Крутизна тока $S=di/dt$	Заряд $Q = \int i \cdot dt$	Интеграл $W/R = \int i^2 dt$
Значение	2 – 200 кА	2 – 200 кА/мкс	150 – 300 А·с	2,5 – 10 МДж/Ом
Воздействие в точках удара	Повышение потенциала относительно удаленной земли	Наведение напряжения в петлях	Плавление металла в точках удара	Нагрев проводников, по которым протекает ток молнии
Схема				
Примеры	$I_{max} = 200$ кА; $R_E = 5$ Ом; $U_{max} = 1$ МВ	$S = 200$ кА/мкс; $a = 10$ м; $b = 0,1(10)$ м; $u_i = 40$ В (216 кВ)	При $Q = 300$ Кл плавятся алюминиевые стенки толщиной до 5мм	При $W/R = 10$ МДж/Ом плавятся медные провода сечением 10 мм и стальные сечением 25мм

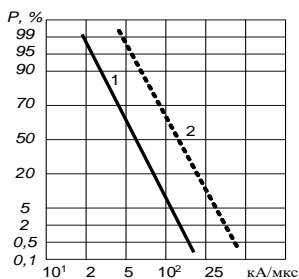
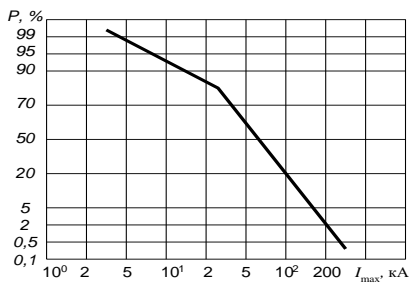


Рисунок 3.3 – Распределение вероятности P максимальных значений токов молнии I_{max} (а) и крутизны $S = di/dt$ (б) :

1 – статистическая обработка с учетом длительностей крутизны в микросекундном диапазоне; 2 – те же в наносекундном диапазоне.

Если у объекта отсутствуют защитные устройства, ограничивающие перенапряжения, то могут происходить неконтролируемые перекрытия и пробои в слабых местах изоляции или в самом простом варианте нарушения функционирования электронного оборудования из-за проникновения помехи через систему его питания.

Любая молния и любой ток в проводах, обусловленный молнией, вызывают переходные электромагнитные поля, которые могут вызвать в электрических контурах напряжения с мешающими или разрушающими последствиями.

В связи с опасностью грозовых разрядов реализуется концепция двухступенчатой защиты посредством так называемых внешних и внутренних мероприятий по молниезащите. Внешняя молниезащита охватывает все мероприятия, направленные на то, чтобы организовать отвод тока молнии так, чтобы внутри здания не возникали высокие разности потенциалов и сильные электромагнитные поля помех. Внутренняя молниезащита должна снизить до приемлемых остающиеся воздействия на объекты внутри помещения.

Если молния ударяет непосредственно в землю или находящиеся вблизи проводящие предметы (молниеприемники, осветительные мачты, металлические фасады и т.д.), то канал молнии B (рисунок 3.4) кратковременно приобретает высокий потенциал ($U_{max} \gg 100$ кВ) вследствие падения напряжения на сопротивлении заземления (см. таблицу 3.2). В результате потенциал сигнальной линии при наличии емкостей C_k и C_E повысится до значения

$$U_{St} = U_{max} * C_k / (C_k + C_E). \quad (3.1)$$

Если нет устройств, защищающих от перенапряжений, то входная изоляция приборов G1 и G2 будет повреждена, а в лучшем случае (слабая интенсивность молнии, большое расстояние до места удара, дающее малое значение C_k) возникает интенсивная помеха. Эффективная защита может быть обеспечена экранированием

сигнальной линии.

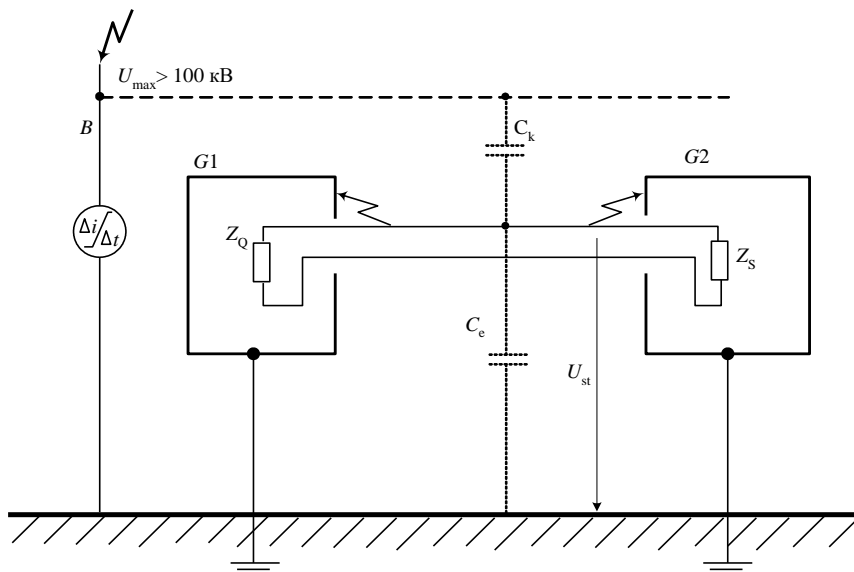


Рисунок 3.4 – Емкостное влияние молнии, на линию:

B – канал разряда молнии; $G1, G2$ – приборы;

C_k, C_e – емкости связи относительно земли

Индуктивное влияние обусловлено паразитным потокоцеплением между контурами промышленных устройств и образованными при ударах молнии или разрядах статического электричества.

При разряде статического электричества на проводящий корпус прибора G (рисунок 3.5). В контуре, находящемся внутри прибора и удаленном от проводника с током разряда i_{ESD} , на среднее расстояние r_0 , индуцируется напряжение

$$Y \equiv \frac{\mu}{2\pi} * \frac{a * l}{r_0} * \frac{\Delta I}{\Delta \tau}, \quad (3.2)$$

где l и a – длина и ширина контура соответственно.

При выводе (2) использованы элементарные соотношения:

$$U_{st} = a * l * \Delta B / \Delta t;$$

$$B = \mu * H;$$

$$H = i / 2\pi * r_0$$

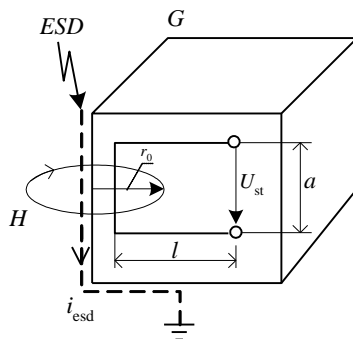


Рисунок 3.5 – Индуктивное влияние разряда статического электричества *ESD* на петлю *l-a* внутри прибора *G*

Например, при $a = l = 1$ см, $r_0 = 5$ см и скорости изменения тока во времени 10 А/нс, возможной при разряде статического электричества, напряжение помехи равно 4 В.

Следующие примеры индуктивного влияния показаны на рисунке 3.6 и 3.7. Магнитное поле канала молнии индуцирует в контурах напряжения, которые можно определить из (3.2).

На рисунке 3.6 выделены два таких контура. Первый образован проводами сигнального контура и имеет площадь a_1l . Второй, площадью a_2l , создан заземленным проводом сигнального контура и землей. При $r_0 = 25$ м, $l = 20$ м, $a_1 = 0,4$ см, $a_2 = 60$ см и $\Delta i / \Delta t = 200$ кА/мкс (см. таблицу 3.2) из (3.2) вычисляется напряжение $U_{ST1} = 128$ В в первой петле, $U_{ST2} = 19,2$ кВ - во второй. Эти напряжения могут привести к пробоям и связанным с ними повреждениям приборов C_1 , G_2 , если не предусмотрены специальные защитные меры.

Рисунок 3.7 дает представление о петле в здании *G*, образованной 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 индуцированное в петле

напряжение согласно (3.2) достигает 540 кВ. При отсутствии средств защиты включенные в обе сети компьютеры несомненно, будут выведены из строя.

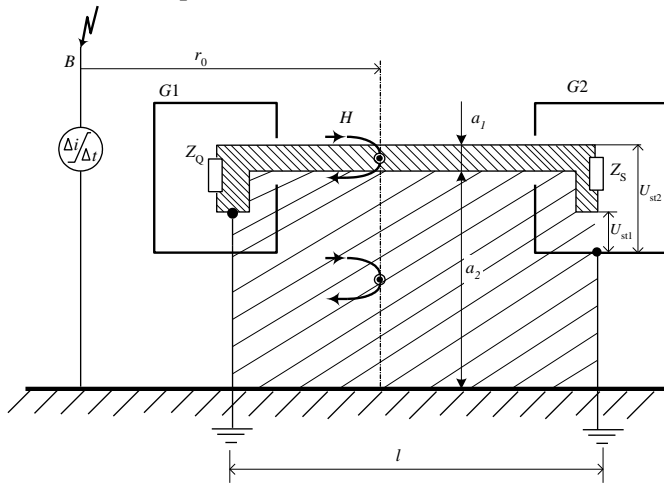


Рисунок 3.6 – Индуктивное влияние тока молнии на электрические контуры в устройстве автоматизации: B – канал молнии; G_1, G_2 – приборы устройства.

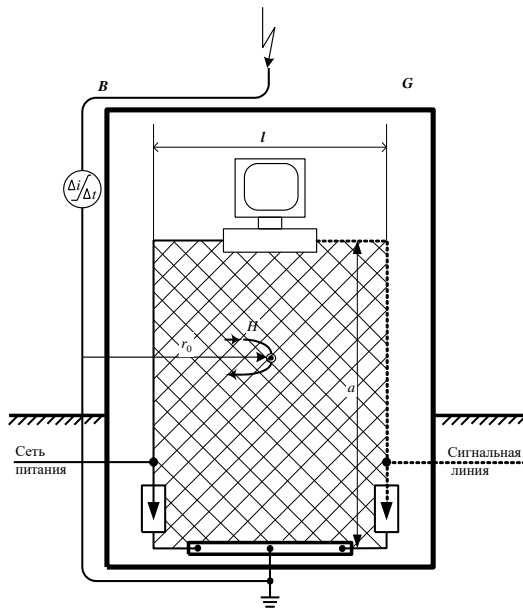


Рисунок 3.7 – Индуктивное влияние тока молнии на электрический контур внутри здания G, образованный проводами питания и сигнальными линиями при ударе молнии в молниеприемник здания

Снижение индуктированных напряжений предусматривает следующие мероприятия:

- снижение до возможных пределов взаимной индуктивности L_{12} т.е. уменьшение l за счет сокращения длины проводников, увеличение расстояния между сетевыми и информационными проводами, уменьшение площади контура, подвергающегося воздействию;

- уменьшение скорости изменения во времени потока $\Delta\Phi/\Delta t$ при помощи короткозамкнутой петли, расположенной непосредственно у сигнального контура, или соединение печатной панели экрана мостиком в замкнутое кольцо;

- осуществление связи контуров ортогонально направлению силовым линиям магнитного поля. Этот способ эффективен в устройствах, выполненных в виде катушек;

- компенсация индуктированного в контуре напряжения путем скрутки проводов. При этом частичные потоки Φ_i создают напряжения, направленные противоположно;

- снижение действия созданного магнитного потока путем скручивания соединительных проводов контура. При этом создаются встречно направленные компоненты потока, а их воздействие на вторичный контур компенсируется;

- экранирование кабелей, соединительных проводов, модулей и приборов ферромагнитными экранами (трубами, металлическими шлангами, стальными корпусами), причем экранирующее воздействие тем сильнее, чем выше магнитная проницаемость материала и толще стенка экрана. Проводящие соединения между экраном и землей необязательны, однако они необходимы для защиты от напряжения прикосновения. Для ослабления воздействий, вызванных молнией, применяется ферромагнитное экранирование кабелей передачи данных, проложенных по воздуху, экраны заземляются на обоих концах.

Для защиты от перенапряжений в электронных системах вызванных молнией широко используют различные ограничители перенапряжений. 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 (рисунок 3.8). В конкретных случаях она выбирается такой, чтобы в допустимых пределах изменения рабочее напряжения имело место очень большое сопротивление, а при превышении заданного напряжения - очень малое.

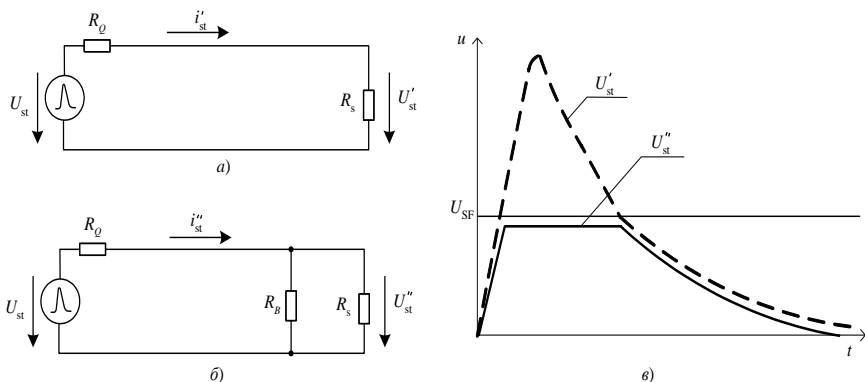


Рисунок 3.8 – Ограничение перенапряжений при помощи нелинейного сопротивления R_B : a – схема без защиты; b – схема с защитой; c – изменение напряжения во времени; U_{SF} – импульсная прочность входной цепи

Вместе с сопротивлением источника помехи ограничитель образует схему нелинейного делителя напряжения (рисунок 3.8, б), который снижает переходное перенапряжение до допустимого значения

$$U''_{st} = U_{st} - i''_{st} * R_Q \quad (3.3);$$

не превышающего импульсную электрическую прочность защищаемого элемента (рисунок 3.8, в).

Для ограничения перенапряжений используются защитные разрядные промежутки, варисторы и лавинные диоды. Соответственно физические принципы действия этих устройств различны. Поэтому такие характеристики защитных элементов как напряжение и время срабатывания, уровень ограничения, степень точности ограничения напряжения, допустимая токовая нагрузка, остаточное сопротивление, гасящие свойства и другие, сильно различаются.

Разрядники конструктивно изготавливаются в виде воздушных, газонаполненных устройств или элементов со скользящим разрядом. На практике они выполняют функции грубой защиты.

Газонаполненный разрядник представляет собой два электрода с фиксированным расстоянием между ними, помещенными в герметичный керамический или стеклянный корпус, заполненный инертным газом. Защищаемую систему такой разрядник нагружает слабо, так как сопротивление изоляции между электродами составляет более 10^{10} Ом, а емкость - менее 10 пФ. Если воздействующее напряжение превышает напряжение пробоя U_Z , то происходит разряд между электродами, при этом сопротивление разрядника понижается приблизительно на 10 порядков. Напряжение на разряднике понижается до значения U_G обусловленного тлеющим разрядом, или же, если это допускает соотношение сопротивлений цепи, до значения дугового напряжения U_B (рисунок 3.9).

Напряжение пробоя U_Z газонаполненного разрядника зависит от изменения воздействующего напряжения du/dt (рисунок 3.10). При $du/dt = 100$ В/с определяется статическое U_{Zs} , а при $du/dt = 1$ кВ/мкс - динамическое напряжение U_{Zd} пробоя разрядника (600-700 В). Типичное изменение напряжения на разряднике во времени приведено на рисунок 3.11. При очень коротких импульсах напряжения (менее 30 нс) газонаполненный разрядник не срабатывает.

Газонаполненные разрядники надежно пропускают стандартные токи (8/20 мкс) амплитудой до нескольких десятков килоампер, однако они способны самостоятельно гасить токи, не превышающие 1 А. Поэтому их применение в цепях электроснабжения требует последовательного включения защитного устройства, способного отключить возможный сопровождающий ток.

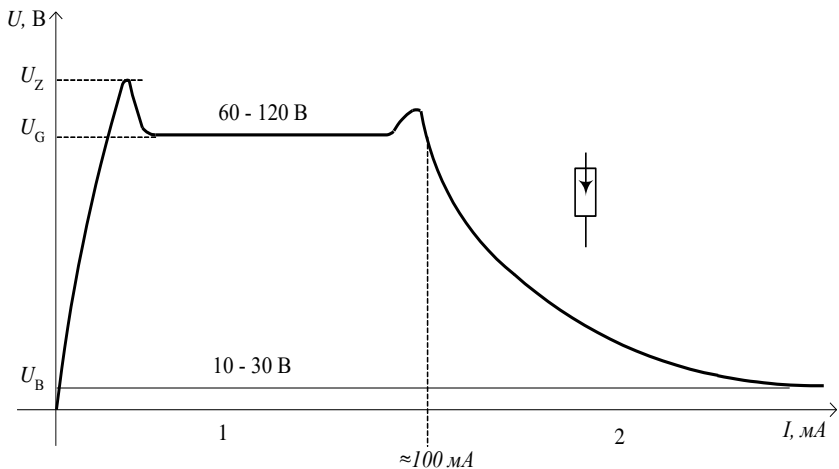


Рисунок 3.9 – Вольтамперная характеристика газонаполненного разрядника с ориентировочными значениями напряжений тлеющего (U_G) и дугового (U_B) разрядов: U_Z - напряжение зажигания (см. рисунок 3.10);
 1- область начальных и тлеющих разрядов; 2 – область дуговых разрядов

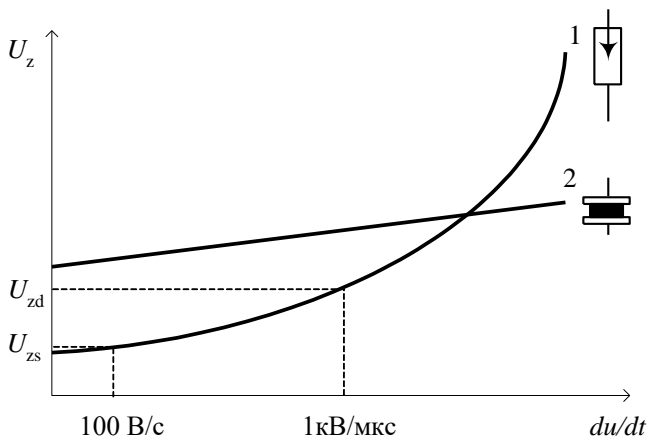


Рисунок 3.10 – Характеристики зажигания газонаполненного разрядника (1) и разрядника со скользящим разрядом (2): U_{zs} - статическое напряжение срабатывания; U_{zd} - динамическое напряжение срабатывания

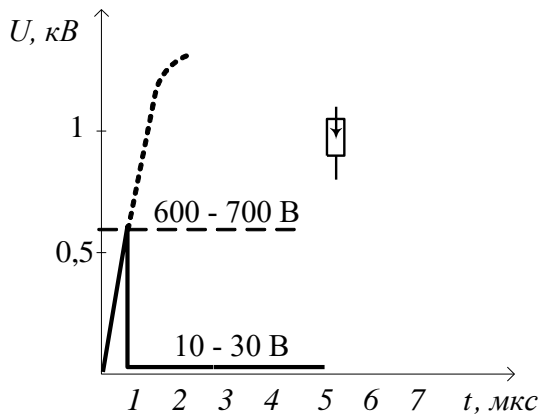


Рисунок 3.11 – Типичная характеристика зажигания газонаполненного разрядника

Воздушные защитные промежутки образуются электродами находящимися в воздухе. Их разрядные и рабочие характеристики близки к характеристикам газонаполненных разрядников. Так как они не способны обрывать сопровождающие токи, то их применение в качестве ограничительных элементов в цепях электроснабжения возможно лишь в комбинации с предохранителями или варисторами, выполняющие функции дугогашения.

Находят также применение и закрытые воздушные (так называемые разделительные) промежутки в местах сближения грозозащитных устройств с другими заземленными частями устройства или металлическими конструкциями, которые по условиям коррозионной стойкости не должны быть гальванически долго соединены друг с другом. При грозовых воздействиях защитные промежутки устанавливаются там, где должны происходить пробой, тем самым устраняются неконтролируемые перекрытия и гарантируется выравнивание потенциалов в течение грозового разряда частей устройства, отделенных друг от друга в нормальном режиме

Разрядники со скользящим разрядом содержат между электродами изоляционный материал. Вольт-секундные характеристики таких разрядников более пологие, чем

газонаполненных (рисунок 3.10). Поэтому независимо от крутизны импульс перенапряжения ограничивается до значения 2-3 кВ. Такие разрядники способны самостоятельно обрывать сопровождающие токи, и поэтому они более подходят для грубой защиты в цепях электропитания.

Варисторы (Variable Resistors) представляют собой элементы с симметричной вольт-амперной характеристикой (рисунок 3.12). При $I > 0$ она выражается в виде

$$I = K U^\alpha, \quad (3.4);$$

где K - постоянная, зависящая от размеров резистора; α - показатель, зависящий от материала.

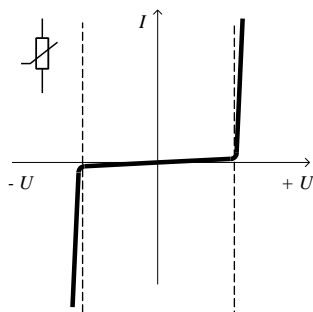


Рисунок 3.12 – Типичная вольт-амперная характеристика варисторов

Для применяемых в настоящее время металлооксидных варисторов на базе оксида цинка значение α находится в пределах от 25 до 40.

Эффект ограничения напряжения основан на том, что при превышении рабочего напряжения, рассчитанного по (4), сопротивление

$$R = 1 / K U^{\alpha-1} \quad (3.5);$$

уменьшается на много порядков (рисунок 3.12, б).

Защитный уровень варисторов в зависимости от их исполнения может лежать как в диапазоне низких, так и высоких напряжений, причем они способны поглотить значительную энергию. Их время срабатывания сравнительно мало и составляет десятки наносекунд. Оно определяется индуктивностью токопроводов. Собственная емкость варисторов велика (0.4-40 нФ), и поэтому их применение для ограничения перенапряжения в высокочастотных системах исключено.

Конструктивно варисторы выполняются в виде шайб, блоков, также втулок для разъемных соединений. На практике варисторы используют преимущественно для грубой защиты.

При часто повторяющихся перенапряжениях варистор нагревается и сопровождающий ток возрастает. Этот эффект можно использовать для контроля функциональных способностей варистора

Кремниевые лавинные диоды обладают свойством не повреждаться при воздействии напряжения, превышающего граничные, при котором они находятся в закрытом состоянии. Их разновидность - так называемые Z-диоды (стабилитроны) напряжением $U_Z = 3 - 200 \text{ В}$ (рисунок 3.13) давно используются в электронных схемах для стабилизации напряжения и защиты от перенапряжений. Разработаны и специальные лавинные диоды, предназначенные для ограничения переходных перенапряжений, отличающиеся от обычных Z-диодов более высокой пропускной способности по току, малым временем запаздывания (пикосекунды), большой поглощаемой энергией. Такие диоды выпускаются под названием ограничителей перенапряжения, супрессдиодов (ограничительных стабилитронов транзильдиодов или TAZ-диодов (TAZ - от Transient Absorbin Zener).

На рисунке 3.14 приведена характеристика ограничительного стабилитрона. Она аналогична характеристике Z-диодов. Напряжение U_R - максимальное напряжение, при котором диод еще закрыт; U_B - напряжение начала ограничения, при котором $I = 1 \text{ мА}$; U_C - напряжение ограничения для импульса тока I_{pp} (8/20 мкс) Достигаемые уровни ограничения напряжения лежат в диапазоне 6-440 В. Защитные стабилитроны выпускаются также в виде биполярных элементов. Для них $U_R = \pm 6 \text{ В}$, $U_B = \pm 5,5 \text{ В}$; $U_C = \pm 12 \text{ В}$ при токе $I_{pp} = 40 \text{ А}$ (8/20 мкс).

Рисунок 3.13 – Вольт-амперная характеристика Z-диода с напряжением $U_Z = 3 - 200\text{В}$

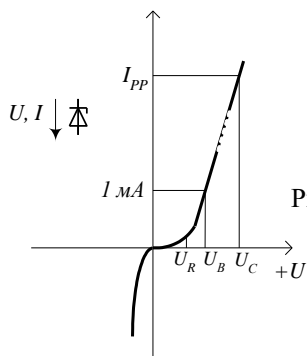
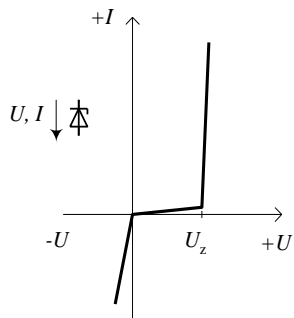


Рисунок 3.14 – Вольт-амперная характеристика стабилитрона и его важнейшие параметры

Описанные выше газонаполненные разрядники, ограничители с поверхностным разрядом, варисторы, Z-диоды и ограничительные стабилитроны используются для ограничения перенапряжений отдельно или в комбинации друг с другом, а так же с фильтрами.

В качестве примера применения приборов защиты от перенапряжения на рисунке 3.15 приведена схема грубой защиты при централизованном питании. Она защищает фазы и нейтраль от поступающих внешних перенапряжений и состоит из параллельно включенных в каждой цепи разрядника с поверхностным разрядом и металлооксидных варисторов с тепловой сигнализацией (контакты а и б служат для дистанционного контроля нагрева варистора из-за повышенного тока утечки, перегрева). Разрядники способны выдерживать токи, обусловленные молнией, и гасить дугу сопровождающего тока. При приходе импульса перенапряжения сначала работает варистор (время срабатывания примерно 25 нс), а затем срабатывает разрядник с запаздыванием

порядка микросекунд. Пропускная способность такого устройства по току может достигать 100 кА (импульсы 8/20 мкс), а перенапряжение ограничивается до 2-3 кВ. Эти напряжения являются слишком большими для промышленных электронных устройств, и поэтому они дополнительно ограничиваются, как правило, варисторами, рассчитанными на ток до 10 кА и напряжение до 1 кВ. Такие приборы, как компьютеры, терминалы, печатающие устройства, плоттеры и другие, защищаются дополнительно при помощи устройств, вмонтированных в сетевые розетки или при помощи включения адаптеров (рисунок 3.16). Ток подобных устройств лежит в пределах 2,5-5 кА, поперечное напряжение ограничивается до 600-700 В, продольное - до значения менее 1,5 кВ. Часто адаптеры сочетают функции ограничителя перенапряжений и фильтра для подавления высокочастотных помех (рисунок 3.17).

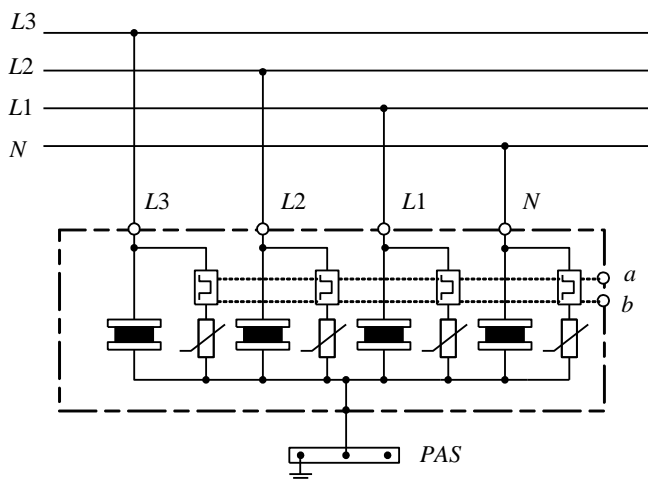


Рисунок 3.15 – Устройство для защиты от перенапряжений при централизованном электропитании устройств оборудования в здании

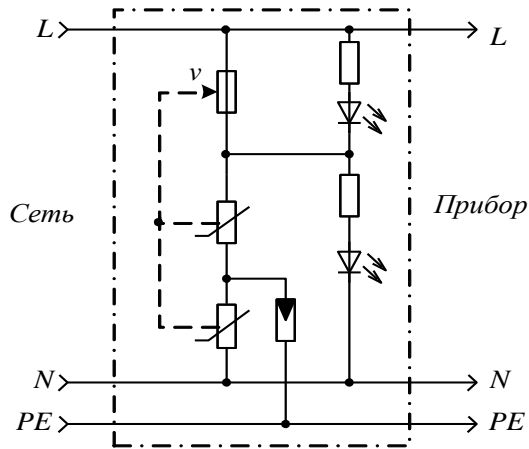


Рисунок 3.16 – Адаптер для защиты от перенапряжений с контролем термического режима варисторов и передачей сигнала о дефекте по светодиоиду

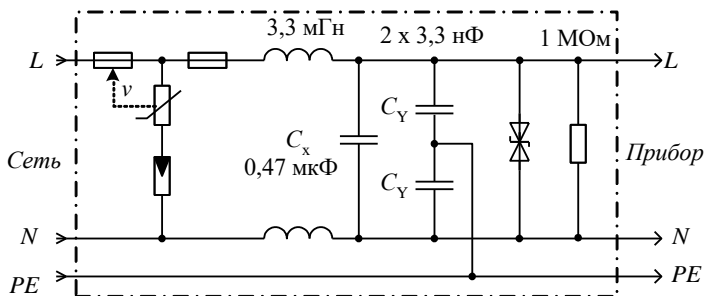


Рисунок 3.17 – Адаптер-розетка для защиты от перенапряжений с встроенным сетевым фильтром на 220 В

Важными параметрами, которые необходимо учитывать при выборе защитных сетевых элементов (в распределительной сети, у потребителей, непосредственно в сетевых розетках) является длительно выдерживаемое напряжение, приложенное к их вводам, токовая импульсная нагрузка и связанное с ней напряжение ограничения.

При защите линий передачи измерительной информации, сигналов регулирования и управления, данных элементы, ограничивающие перенапряжения в этой области должны, с одной стороны, обладать способностью отводить сильные импульсные

токи (до 10 кА), а с другой - быстро ограничивать перенапряжения, близкие по значениям к рабочим напряжениям. Эти требования удовлетворяются в многоступенчатых схемах. На рисунке 3.18 приведена схема одного из таких устройств, состоящего из газонаполненного разрядника, металлооксидного варистора (грубая защита) и ограничительного стабилитрона (тонкая защита). При появлении импульса перенапряжения сначала срабатывает стабилитрон. Ток i_1 вызывает падение напряжения на индуктивности L_1 $U_{L1} = di_1/dt$, что приводит к срабатыванию варистора. Под воздействием напряжения $U_{L2} = L_2 * di_2/dt$ разрядник пробивается. Таким образом приходящий импульс (10 кВ) со скоростью изменения напряженно 1 кВ/мкс ступенчато ограничивается до 35 В.

Аналогичные схемы разнообразных модификаций по системам передачи сигналов, напряжению и току являются обычными для линий передачи измерительной информации, сигналов регулирования и управления как связанных с заземлением, так и изолированных от земли. Конструктивно они встраиваются в корпуса приборов, в стандартные шины, клеммы или печатные платы для монтажа в стандартные устройства европейского формата (19 дюймов).

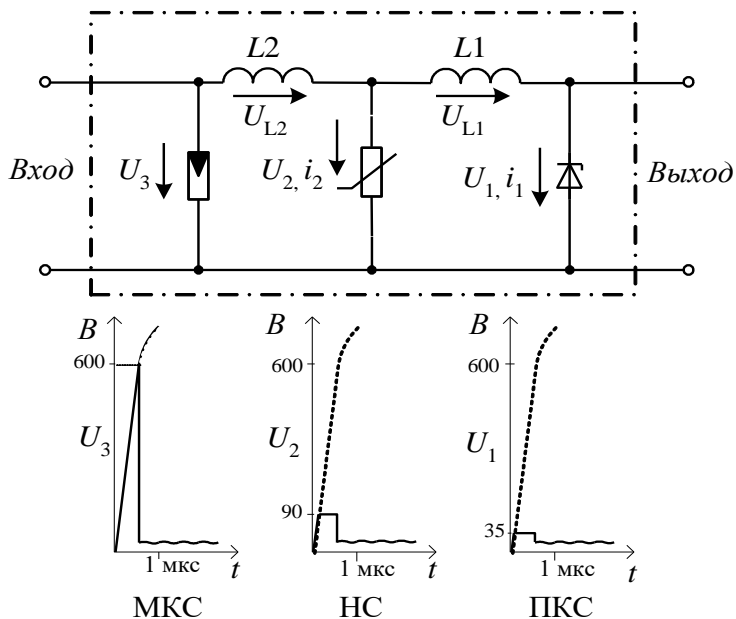


Рисунок 3.18 – Трехступенчатый ограничитель перенапряжения с газонаполненным разрядником, варистором (грубая защита) и стабилитроном (тонкая защита). Под графиками указано время срабатывания ступеней

Устройства для защиты от перенапряжений линий передачи данных должны обеспечить защитные функции, не ухудшая свойства линии, т.е. они не должны вызывать в заданном частотном диапазоне недопустимого демпфирования. В таких устройствах исключается использование индуктивностей и варисторов из-за большой их собственной емкости.

На рисунке 3.19 в качестве примера приведена схема адаптера для устройства V.24/ RS 232 C. Он рассчитан на ток до 5 кА (импульс 8/20 мкс), срабатывает за время 100 пкс, ограничивает напряжение крутизной 1 кВ/мкс до 20 В и позволяет передавать информацию до 40 Кбайт/с.

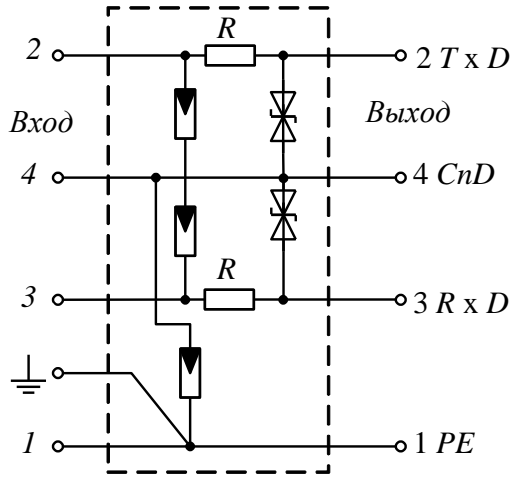


Рисунок 3.19 – Блок защиты от перенапряжений для устройства V.24/RS232 C: 1 – защитное заземление; 2 – вывод данных; 3 – ввод данных; 4 – рабочее заземление, система опорного потенциала

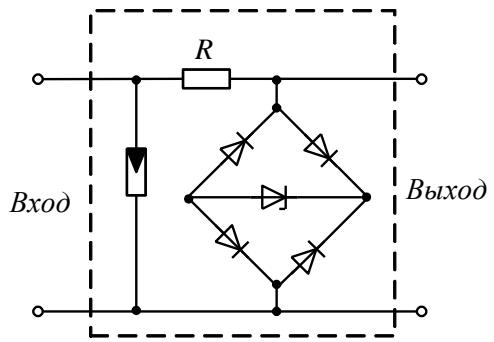


Рисунок 3.20 – Блок защиты от перенапряжений для коаксиальных линий

На рисунке 3.20 показан другой пример - схема адаптера, ограничивающего перенапряжения в коаксиальной системе передачи данных с заземленным сигнальным токовым контуром. В ней ограничительный стабилитрон, выполняющий функцию тонкой защиты, включен в диагональ моста, образованного диодами с малыми собственными емкостями. При этом собственная емкость

стабилитрона не учитывается. В таком защитном устройстве граничная частота может быть выше 100 МГц.

Существуют также защитные устройства для всех широко распространенных стандартных плат, конструктивно совмещенных со встроенными разъемами. При использовании ограничителей перенапряжений в сигнальных цепях и токовых контурах управления необходимо стремиться ограничить переходные перенапряжения до безопасного значения, при котором остаточное напряжение не будет восприниматься как полезный сигнал, что вызывало бы непредвиденную реакцию системы. Чтобы предотвратить это, необходимо использовать дальнейшие средства обеспечения электромагнитной совместимости.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить теоретические сведения по методам и средствам грозозащиты, используя данное пособие и рекомендуемую преподавателем литературу.

2 По наглядным образцам ознакомиться с конструктивным исполнением различных вариантов устройств защиты и с примерами реализации мер по защите входных цепей устройств автоматики и телемеханики от воздействий молниевых разрядов.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности применения указанной преподавателем схемы для защиты устройств от воздействий молниевых разрядов (схемы влияния молнии).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Наименование и цель работы, описание заданной преподавателем схемы с ее изображением, ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы, выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Параметры и характеристика воздействия разряда молнии на объект;
2. Емкостное воздействие разряда молнии;
3. Индуктивное воздействие разряда молнии;

4. Основные принципы работы приборов защиты от перенапряжений;
5. Рязрядники и искровые промежутки;
6. Варисторы. Принцип работы;
7. Кремниевые лавинные диоды. Принципы применения;
8. Защита РЭА по цепям питания;
9. Защита линий передачи данных.

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЯ НА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ИМИТАТОРОМ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Цель работы. Изучить назначение, структуру, принцип действия и области применения имитатора импульсных помех.

1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В последнее время наметилась устойчивая тенденция построения систем железнодорожной автоматики и телемеханики на новой элементной базе, микросхемах, микропроцессорах. При этом в таких системах в качестве устройств согласования с мощными исполнительными механизмами находят широкое применение электромагнитные реле. Сочетание в одной системе элементов с различной энергией полезных сигналов потенциально обуславливает заметную восприимчивость логической части системы к внутренним помехам. Увеличение мощности подвижных единиц электрифицированного железнодорожного транспорта в сочетании с ростом его энерговооруженности приводит также и к увеличению уровней помех в сетях питания железнодорожной автоматики и телемеханики.

Поэтому безотказность и достоверность функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) зависит не только от логической структуры устройств и надежности элементов, но и от того, как решены вопросы их защиты от воздействия внутренних и внешних помех.

Проблему защиты устройств от воздействия помех наиболее целесообразно решать с помощью специальной аппаратуры,

моделирующей реальные помехи.

Аппаратура моделирования помех позволяет проводить в лабораторных или заводских условиях испытания на помехозащищенность устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, целью которых является выявление на ранних этапах разработки наиболее подверженных воздействиям помех элементов, узлов, блоков устройств и т.д. Это позволяет своевременно принять необходимые меры по повышению помехозащищенности устройств СЖАТ, а также оценить их эффективность с помощью аппаратуры моделирования помех.

Имитатор импульсных помех (ИИП) – специальное электрическое устройство, предназначенное для физического моделирования реальных импульсных помех различной формы (экспоненциальной, прямоугольной, трапецеидальной, двухэкспоненциальной, косинусоидальной и др.). Кроме того, существуют имитаторы пачек импульсных помех (быстропротекающих переходных процессов), назначение которых – вырабатывать группы импульсных помех (многоканальные имитаторы).

Принцип построения имитаторов помех показан на рисунке 4.1. Моделируемые помехи в имитаторах формируются за счет разряда энергии накопительного элемента через коммутатор на активное сопротивление R_p . В качестве накопителей энергии могут использоваться конденсаторы, дроссели, коаксиальный кабель различной длины и т.д.

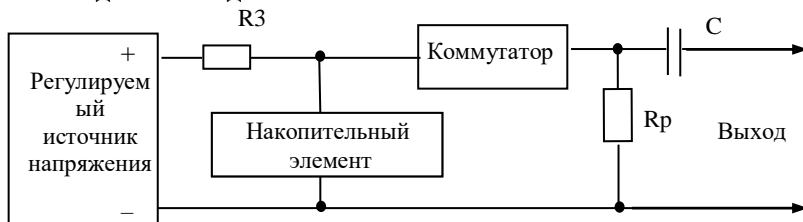


Рисунок 4.1 – Принцип построения имитатора помех

1.1 Структурная схема имитатора импульсных помех

Структурная схема имитатора импульсных помех, расположенного в лаборатории (рисунок 4.2), состоит из вторичного источника питания ВИП на выходные напряжения 5 В,

15 В и 30 В, 200 В, 0÷1000 В, подключенного к сети 220 В через сетевой фильтр.

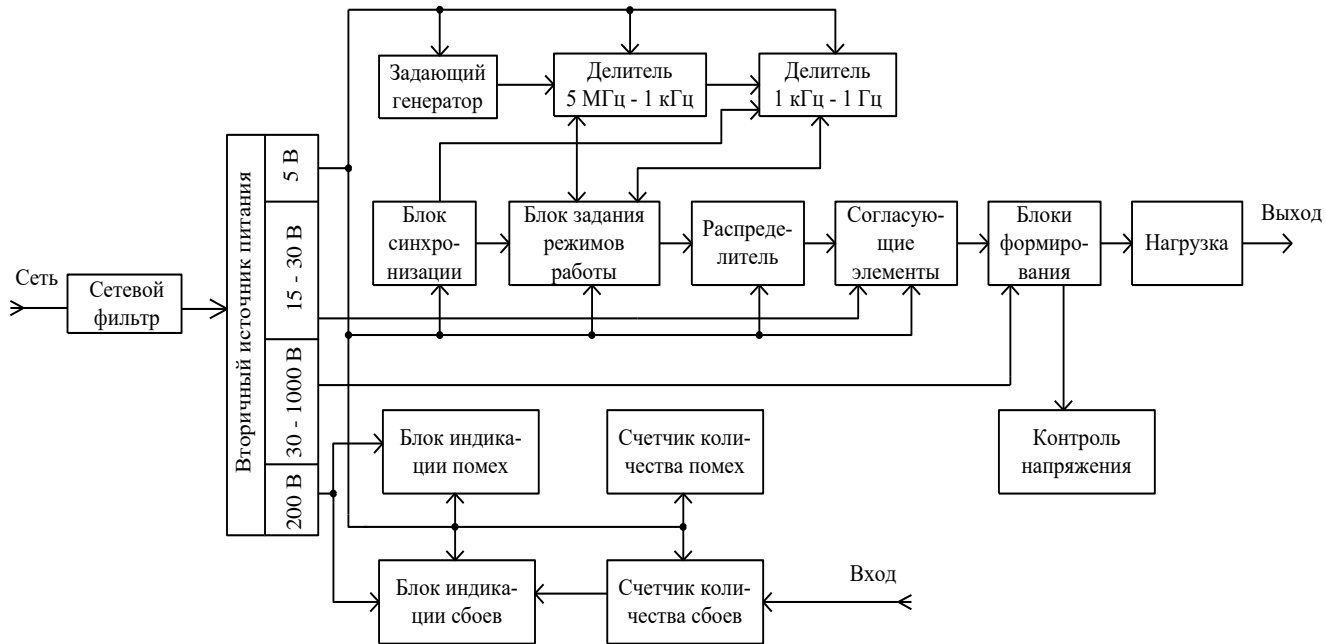


Рисунок 4.2 – Структурная схема имитатора импульсных помех

Сетевой фильтр осуществляет защиту схем управления от импульсных помех в сети питания во время проведения эксперимента и от помех создаваемых имитатором. При этом стабилизированный источник напряжением 5 В используется для питания логических схем управления и контроля, нестабилизированные источники 15 В и 30 В – для питания элементов согласования, нестабилизированный источник 200 В – для питания блоков индикации количества помех и количества сбоев, регулируемый источник 0 – 1000 В – для питания блоков формирования. Имитатор помех имеет задающий генератор на 5 МГц, выход которого подключен к делителям частоты от 5 МГц до 1 кГц и от 1 кГц до 1 Гц. Выходы делителей частоты через блок задания режимов работы подключаются к входу распределителя на 8 каналов, выходы которого через согласующие элементы подключены к управляющим входам тиристорных блоков формирования. На входе блоков формирования включается общий для всех нагрузочный резистор, на котором и формируется моделируемая имитатором пачка импульсов помех или одиночная помеха. В имитаторе импульсных помех предусмотрен контроль напряжения на каждом из 8 каналов и контроль работоспособности каналов. При проведении испытаний на помехозащищенность с помощью имитатора помех счетчиками количества помех и количества происшедших сбоев и их блоками индикации автоматически отражается количество посланных помех, и количество происшедших сбоев в работе испытуемой аппаратуры за определенный промежуток времени, что позволяет непосредственно оценить величину степени помехозащищенности испытуемого устройства.

Блок синхронизации задает угол сдвига начала действия помех по отношению к фазе питающего напряжения.

Питание цифровых индикаторов осуществляется через развязывающий трансформатор с напряжением на вторичной обмотке 200 В.

Принцип работы имитатора помех состоит в следующем. Накопительные элементы блока формирования импульсных сигналов (количество которых зависит от количества импульсов в пачке) запасают энергию от регулируемого источника высокого напряжения, и после поступления на управляющие входы блока

формирования сигналов, через согласующие элементы от распределителя на выходе имитатора, подключенного к нагрузке, появляется пачка импульсов помех либо одиночный импульс (в зависимости от настройки).

В имитаторе имеется возможность подключения внешнего автотрансформатора и задающего генератора, что позволяет плавно регулировать амплитуду, скважность и частоту следования помех в широком диапазоне.

Согласующие элементы предназначены для усиления отпирающих импульсов, поступающих из распределителя и подачи их на управляющие электроды тиристоров блока формирования. Одновременно они обеспечивают гальваническую развязку между управляющей частью имитатора и силовой, имеющей гальваническую развязку с питающей сетью.

1.2 Технические характеристики имитатора

• амплитуда	0 – 1000 В;
• длительность (на уровне 0,5А)	0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 мкс;
• число импульсов в пачке	2 – 8 штук;
• длительность фронта импульсов помех	0,2 мкс;
• скважность импульсов в пачке	1,1 – 100;
• частота следования помех	1, 10, 25, 50, 100 Гц;
• полярность импульсов помех	+/-;
• форма импульсов помех	экспоненциальная;
• режим работы	ручной, автоматический;
• емкость счетчика количества помех	0 – 10000 единиц;
• емкость счетчика количества сбоев	0 – 10000 единиц;
• потребляемая мощность	250 Вт;
• габаритные размеры	500x400x390 мм.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Примечание: Лица не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к выполнению лабораторных работ не допускаются!

1 Ознакомиться с теоретическим материалом по рекомендованной преподавателем литературе и данным методическим указаниям.

2 Изучить структуру и принцип действия имитатора импульсных помех.

3 Провести испытания предложенного технического средства на устойчивость к воздействию симметричных помех, проходящих по цепям электропитания.

3.1 При выключенных приборах собрать испытательную схему согласно рисунку 4.3.

3.2 Установить на панели имитатора импульсных помех амплитуду импульса помехи на 0 В.

3.3 Включить испытуемое техническое средство в рабочий режим.

3.4 Установить измерительный предел амплитуды осциллографа на максимум и включить его.

3.5 Включить имитатор импульсных помех.

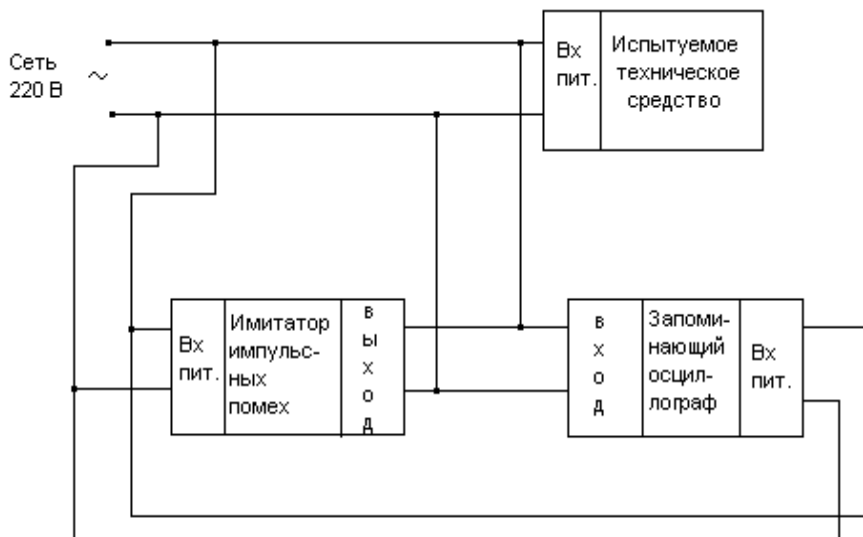


Рисунок 4.3 – Схема испытаний при воздействии симметричных помех по цепям питания

3.6 Изменяя параметры импульсов помех согласно таблице 4.1,

зафиксировать характер и количество сбоев испытуемого технического средства, зарисовать осциллограммы импульсов помех и отразить полученные результаты в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследования помехозащищенности при воздействии симметричных помех на цепи питания

№ п/п	Амплитуда помехи, U_n , В	Длительность импульса помехи, t_n , мкс	Частота генератора, f , кГц	Число импульсов в пачке, n , ед.	Сквозность $Q=T_n/t_n$	Осциллограмма импульсов	Характер и кол-во сбоев испытуемого технического средства
1	100	0,1	10000	2			
2	200	0,1	10000	2			
3	300	0,1	10000	2			
4	400	0,1	10000	2			
5	500	0,1	500	8			
6	600	0,1	500	8			
7	700	0,1	500	8			
8	800	0,1	500	8			
9	100	0,5	500	4			
10	200	0,5	500	4			
11	300	0,5	200	4			
12	400	0,5	200	6			
13	500	0,5	200	6			
14	600	0,5	200	6			
15	700	0,5	200	6			
16	800	0,5	200	6			
17	100	1,0	2000	7			
18	200	1,0	2000	7			
19	300	1,0	2000	7			
20	400	1,0	2000	7			
21	500	5,0	50	5			
22	600	5,0	50	5			
23	700	5,0	50	5			
24	800	5,0	50	5			
25	100	10,0	20	3			
26	200	10,0	20	3			
27	300	10,0	20	3			
28	400	10,0	20	8			
29	500	10,0	20	8			
30	600	10,0	20	8			
31	700	10,0	20	8			
32	800	10,0	20	8			

3.7 Выключить приборы.

3.8 Разобрать испытательную схему.

3.9 Сделать выводы по полученным результатам.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1 Наименование и цель работы.

2 Структурная схема имитатора с кратким описанием узлов и блоков и принципа их действия.

3 Схема проведения испытаний.

4 Таблица с результатами испытаний.

5 Ответы на контрольные вопросы, заданные преподавателем.

6 Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Что называется имитатором помех.

2 Чем отличается одиночная помеха от пачки импульсов помех.

3 Опишите назначение отдельных частей имитатора по структурной схеме.

4 Для чего предназначен имитатор импульсных помех.

5 Для чего предназначен блок синхронизации имитатора.

6 Для чего служат согласующие элементы.

7 Назначение сетевого фильтра в имитаторе.

8 Опишите принцип работы имитатора импульсных помех.

9 Чем в имитаторе задается частота следования пачек импульсов помех.

10 Чем в имитаторе определяется частота следования импульсов в пачке.

11 Что называют электромагнитной совместимостью.

12 Для чего нужно проводить испытания на помехозащищенность.

13 Как понимать слово «адекватность».

14 Назовите виды испытательных импульсов.

15 Как определяется длительность экспоненциального импульса.

16 Назовите основные технические характеристики имитатора импульсных помех.

Лабораторная работа № 5

ИСПЫТАНИЯ НА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ИМИТАТОРОМ ПРОВАЛОВ И ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы. Изучить назначение, структуру, принцип действия и области применения имитатора провалов и перенапряжений.

1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Для исследования восприимчивости устройств АиТ к внешним помехам требуется аппаратура, моделирующая характеристики реальных помех. Такого рода аппаратура получила название имитаторов помех. Это относительно новый класс радиоизмерительных приборов, к которым предъявляются нижеследующие общие требования.

А.) Имитаторы должны обладать возможно меньшим выходным сопротивлением, чтобы низкоомные нагрузки не оказывали заметного шунтирующего воздействия на имитируемые сигналы помех.

Б.) Приборы должны иметь широкие динамические диапазоны измерения амплитуд и длительностей имитируемых сигналов. По возможности изменение амплитуд должно быть плавным.

В.) Имитаторы не должны излучать помех по каким-либо трактам, не предназначенным для этой цели (по цепям питания, управления, заземления, по полю вследствие некачественного экранирования и т.п.).

Г.) Конструкция приборов и правила их эксплуатации должны отвечать требованиям техники безопасности, поскольку сигналы имитаторов часто являются высоковольтными.

Д.) Желательно, чтобы приборы были как можно легче и удобнее для переноса, поскольку объекты, подлежащие исследованию часто сами нетранспортабельны.

Имитатор провалов и перенапряжений – это устройство, имитирующее возникновение в сети питания испытываемого устройства провалов напряжений или перенапряжений.

Практически имитируемые процессы реализуются путем

включения в промежуток между фазой сети питания и нагрузкой добавочных сопротивлений или источников напряжения.

Имитатор обычно состоит из блока коммутации и блока управления. Блок коммутации содержит технические средства, с помощью которых устанавливается глубина провала или амплитуда перенапряжения. С помощью технических средств блока управления устанавливаются длительность и частота повторения процессов.

Основные разновидности блоков коммутации имитаторов длительных помех приведены на рисунках 5.1 – 5.7. Их можно подразделить на блоки, в которых коммутируются добавочные сопротивления (рисунки 5.1 – 5.4), и блоки, в которых коммутируются добавочные источники напряжения (рисунки 5.5 – 5.7). Второй классификационный признак – это физическое исполнение коммутационных ключей: с применением контактов (например, реле) или бесконтактное (тиристоры, симисторы).

Универсальная схема блока с добавочными сопротивлениями и контактными ключами изображена на рисунке 5.1. Здесь входное напряжение $U_{вх}$ устанавливается при помощи автотрансформатора (АТ).

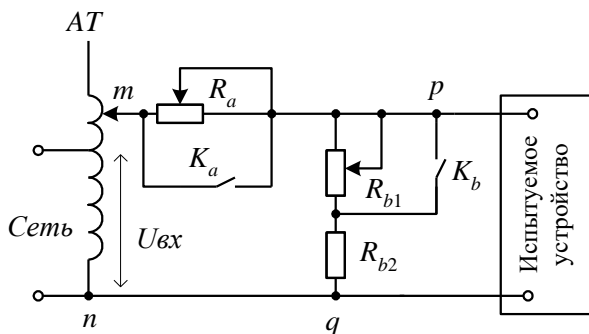


Рисунок 5.1

Для создания провалов напряжения $U_{вх}$ устанавливается равным напряжению сети U_c (для этого режима применение АТ необязательно). Для создания перенапряжений $U_{вх}$ с помощью АТ устанавливается равным $U_{мах}$. Изменение коэффициента передачи четырехполюсника осуществляется с помощью ключей K_a и K_b .

При замыкании ключа K_a или размыкании K_b напряжение на нагрузке (испытуемом техническом средстве) возрастает на ΔU_b (реализуется перенапряжение), при размыкании K_a или замыкании K_b оно уменьшается на ΔU_p (реализуется провал).

Наличие цепи R_{b1} , R_{b2} и ключа K_b оправдано только в тех случаях, когда сопротивление нагрузки весьма велико и ток, потребляемый нагрузкой, недостаточен для создания необходимого перепада напряжения на сопротивлении R_a .

Более простой и экономичной с энергетической точки зрения (по рассеиваемой мощности) является схема, приведенная на рисунке 5.2. Схема содержит потенциометр R_a и ключ K_a . Кроме того, имеется переключатель P_k на два положения. При генерации провалов переключатель становится в положение Π , а при генерации перенапряжений (выбросов) – в положение B .

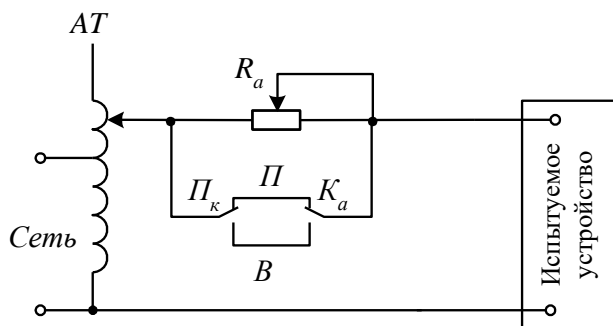


Рисунок 5.2

При работе имитатора не должны возникать импульсные помехи, т.к. при этом возможны непредусмотренные сбои исследуемого устройства. Исключить импульсные помехи можно, либо установив между блоком коммутации и испытуемым устройством фильтр нижних частот, либо выполнив коммутацию ключа K_a в моменты перехода напряжения через нуль. Простая, но достаточно эффективная схема, позволяющая реализовать коммутацию в моменты перехода напряжения через нуль, приведена на рисунке 5.3.

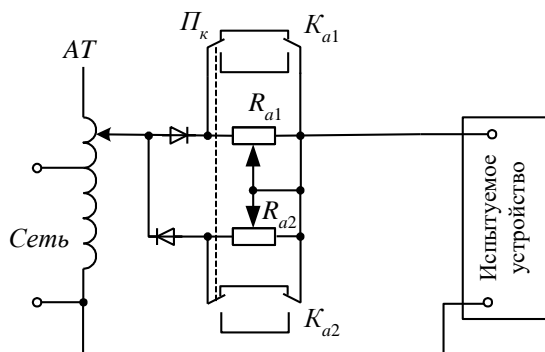


Рисунок 5.3

Схема содержит две одинаковые цепи коммутации положительных и отрицательных полуволн напряжения сети. Движки потенциометров обеих цепей механически связаны. В качестве ключей использованы контакты реле K_{a1} и K_{a2} , входящих в состав управления блока имитатора. Переключение режима генерации провалов и выбросов осуществляется переключателем Π_k на два положения и четыре направления. Срабатывание и отпускание реле K_{a1} и K_{a2} производятся таким образом, что в течение отрицательного полупериода напряжения сети срабатывает (или отпускает якорь) реле K_{a1} , а в следующий, положительный полупериод, срабатывает (или отпускает якорь) реле K_{a2} .

При этом коммутация контактов реле происходит в обесточенном состоянии и при отсутствии на них напряжения. Дребезг контактов не оказывает влияния на работу такой схемы. Принципиально возможно заменить контакты реле в данной схеме тиристорами (рисунок 5.4).

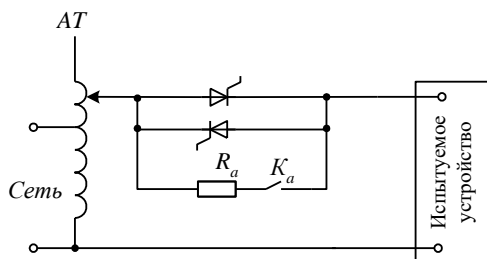


Рисунок 5.4

В этой схеме выключатель Ка дает возможность реализовать полный провал (отключение питания).

Все разновидности блока коммутации, содержащие добавочные сопротивления, обладают следующими недостатками.

А.) При имитации перенапряжения требуется выполнять по две регулировки: сначала надо установить требуемое напряжение $U_{вх}$ с помощью АТ, а затем, изменяя сопротивление R_a , следует установить номинальное напряжение на нагрузке. Только после этого можно коммутировать ключи Ка.

Б.) Когда нагрузка потребляет из сети питания импульсные токи, то имитируемые процессы неадекватны реальным.

В.) В блоке коммутации рассеивается большая мощность.

От указанных недостатков свободны блоки коммутации с добавочными источниками напряжения. На рисунке 5.5 изображен такой блок с контактным переключателем Ка. Ключ Ка коммутирует два источника напряжения: один с напряжением сети $U_{п}$ и другой с напряжением U_c .

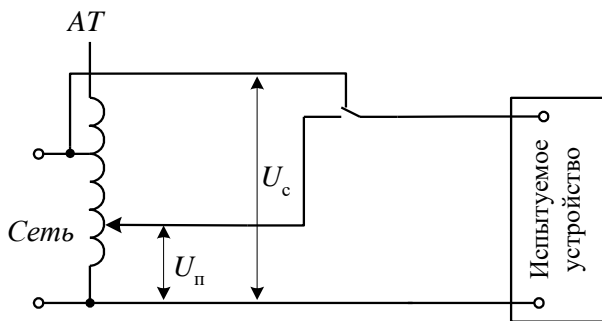


Рисунок 5.5

В зависимости от положения движка АТ $U_{п}$ может быть меньше U_c (имитируется провал) или больше U_c (имитируется перенапряжение). Ключ Ка может быть также тиристорным (рисунок 5.6) или симисторным (рисунок 5.7).

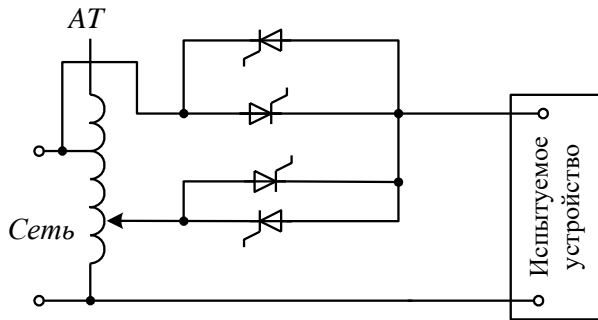


Рисунок 5.6

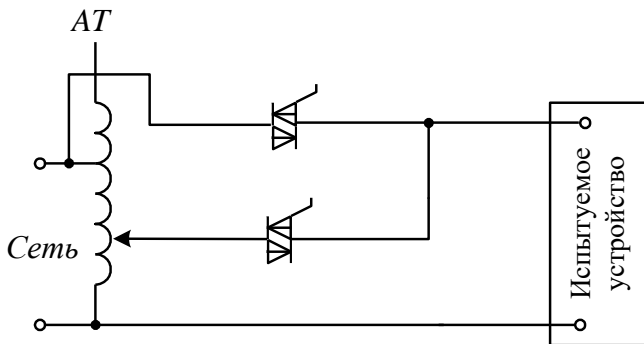


Рисунок 5.7

В имитаторе, расположенном в лаборатории, в качестве ключей используются мощные оптронные тиристоры, которые обеспечивают гальваническую развязку между управляющей схемой и силовой частью. Для исключения импульсных помех, коммутация тиристорных оптронов осуществляется в моменты перехода напряжения через нуль.

Упрощенная схема блока коммутации лабораторного имитатора провалов и перенапряжений приведена на рисунке 5.8.

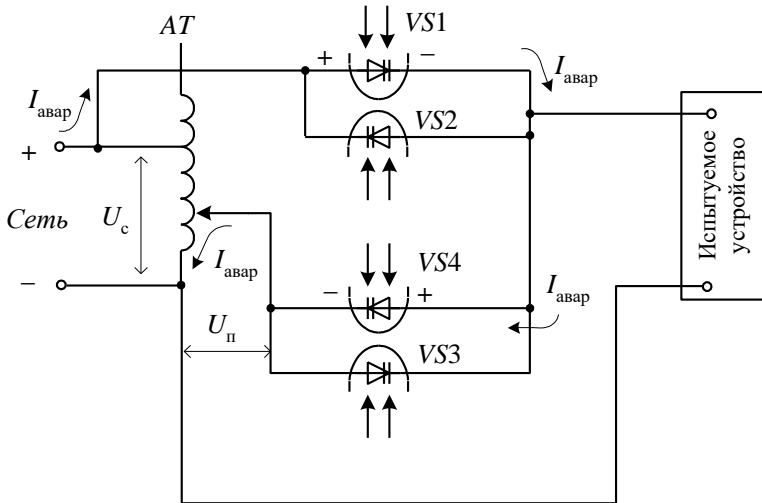


Рисунок 5.8

Отпирающий сигнал поступает на светодиоды с выходов схем управления, имеющих на выходе усилители мощности. Отпирающий сигнал появляется только на одном из оптронах в соответствии с тем, какая полуволна тока протекает через нагрузку (ИТС). Это сделано для того, чтобы исключить случайное одновременное отпирание двух тиристоров, к анодам которых приложено положительное, а к катодам - отрицательное напряжение.

Тогда при нижнем (по схеме) положении движка АТ резко возрастает ток, протекающий по тиристорам и они могут выйти из строя.

Как видно из рисунка 5.8, в случае, если имитатор первоначально был подключен к U_c , а во время действия положительной полуволны U_c прошла мощная импульсная помеха, то она может быть воспринята цифровой схемой управления как команда для переключения на $U_п$. Тиристор VS1 еще будет открыт, т.к. закончился полупериод когда он был открыт, а импульсная помеха не в состоянии его закрыть. Тиристор VS4 откроется, т.к. на него в результате действия помехи из логической схемы поступит отпирающий сигнал. В цепи появится аварийный ток $I_{авар}$, который будет ограничен наибольшим индуктивным

сопротивлением невыведенной части АТ и активным сопротивлением подводящих проводов. Этот процесс может прекратиться в том случае, если в результате пробоя одного из тиристоров или, что менее вероятно, в результате перегорания предохранителя прервется аварийная цепь, или, если окончится один полупериод и начнется второй с противоположной полярностью до того, как выйдет из строя любой из элементов (VS1 и VS4 закроются, т.к. к ним будет приложено запирающее анодно-катодное напряжение). В схеме используются оптронные тиристоры ТО 125-12,5, которые в течение одного полупериода выдерживают ток 450 А. Это значит, что достаточно иметь суммарное сопротивление всех силовых проводников, подводящих напряжение к тиристорам, более 0,5 Ом, чтобы обеспечить целостность оптронных тиристоров (разумеется в том случае, если не сгорит предохранитель). Для повышения помехозащищенности цифровой схемы управления выходные логические элементы подают отпирающий сигнал только на один тиристор, в зависимости от того, какая (положительная или отрицательная) полуволна тока нагрузки протекает через ключи. Вторым условием для проверки является наличие или отсутствие команды на имитацию помехи. Если команды нет, то открыт VS1, а если эта команда пришла, то после прохода сетевым напряжением через нуль будет подана команда на отпирание VS4 (при начавшейся отрицательной полуволне) или VS3 (при положительной).

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Примечание! Лица не прошедшие инструктаж по технике безопасности к выполнению работы не допускаются.

1 Ознакомиться с теоретическим материалом по рекомендованной преподавателем литературе и данным методическим указаниям.

2 Изучить структуру и принцип действия имитатора провалов и перенапряжений.

3 Провести испытания предложенного технического средства на устойчивость к воздействию провалов напряжения сети электропитания.

3.1 При выключенных приборах собрать испытательную схему, изображенную на рисунке 5.9.

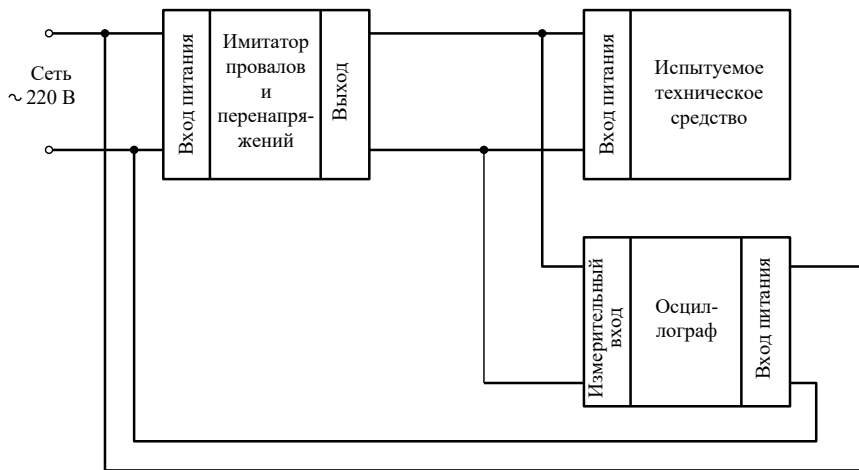


Рисунок 5.9 – Схема проведения испытаний на устойчивость к воздействию провалов напряжения

3.2 Включить имитатор без имитации провала $U_{\text{пров}} = 220 \text{ В}$.

3.3 Включить испытуемое техническое средство в рабочий режим.

3.4 Установить на осциллографе измерительный предел по амплитуде на максимум и включить его.

Примечание! Переключение всех тумблеров и поворот ручки автотрансформатора производить только при включенном состоянии тумблера "БЛК".

3.5 Изменяя параметры провалов напряжения питания согласно таблице 5.1, зарисовать осциллограммы напряжения, зафиксировать длительность провалов напряжения, при которой наблюдаются сбои в работе и отразить полученные результаты в таблице 5.1.

3.6 Выключить приборы.

3.7 Разобрать испытательную схему.

3.8 Сделать выводы по полученным результатам.

Таблица 5.1 – Результаты исследования помехозащищенности технического средства при воздействии на него провалов напряжения

№ п/п	Амплитуда провала, В	Длительность провала, ти, мкс	Осциллограммы сигналов	Характер и кол-во сбоев
1	200	1280 640 320		
2				
3				
4				
5				
6	180	640 1280 320		
7				
8				
9				
10	160	320 640 1280		
11				
12				
13				
14				
15				
16	140	160 640 320		
17				
18				
19				
20	120	160 320 640		
21				
22				
23				
24				
25				
26	100	320 160		
27				
28				
29				
30				

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Структура заданного преподавателем блока коммутации с кратким описанием принципа его действия.
- 3 Схема проведения измерений.
- 4 Таблица с результатами испытаний.
- 5 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.
- 6 Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Назначение имитатора провалов и перенапряжений.
- 2 Опишите порядок производства испытаний на устойчивость к провалам напряжения сети электропитания.
- 3 Назовите основные требования, предъявляемые к имитаторам помех.
- 4 Как практически реализуются имитируемые процессы в имитаторе провалов и перенапряжения.
- 5 Для чего предназначены технические средства блока коммутации.
- 6 Для чего предназначены технические средств блока управления.
- 7 Классифицируйте имитаторы провалов и перенапряжений по способам коммутации и физическому исполнению коммутационных ключей.
- 8 Как исключаются импульсные помехи при работе имитатора провалов и перенапряжений.
- 9 Назовите недостатки блоков коммутации с добавочным сопротивлением.
- 10 За счет каких элементов схемы в лабораторном имитаторе обеспечивается гальваническая развязка между управляющей схемой и силовой частью.
- 11 С какой целью управляющий сигнал схемы управления подается только на один из тиристоров схемы коммутации в лабораторном имитаторе.
- 12 В каком случае в цепях блока коммутации лабораторного имитатора будет протекать аварийный ток.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Хабигер Э.* Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. Пер. с нем. канд. техн. наук И.П.Кужекина; Под ред. Б.К.Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.: ил.
- 2 *Г. Отт.* Методы подавления шумов и помех в электронных системах / Пер. с англ. *Б.Н. Бронина.* Под ред. канд. техн. наук *М.В. Гальперина.* – М.: Мир, 1979.
- 3 *Шваб Адольф.* Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. *В.Д. Мазина* и *С.А. Спектора* / Под ред. *И.П. Кужекина.* М.: Энергоатомиздат, 1995. - 480 с., ил.
- 4 *ГОСТ 29280-92.* Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения.
- 5 *ГОСТ Р 50656-94.* Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики к кондуктивным электромагнитным помехам и электростатическим разрядам. Технические требования и методы испытаний.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
<i>Лабораторная работа № 1. Изучение сетевых помехоподавляющих фильтров.....</i>	6
<i>Лабораторная работа № 2. Изучение основных стандартов ИЕС серии 61000-400.....</i>	18
<i>Лабораторная работа № 3. Изучение элементов и схем грозозащиты.....</i>	40
<i>Лабораторная работа № 4. Испытания на помехозащищенность имитатором импульсных помех.....</i>	61
<i>Лабораторная работа № 5. Испытания на помехозащищенность имитатором провалов и перенапряжений.....</i>	69
Рекомендуемая литература	79