

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра автоматике, телемеханики и связи

К. А. БОЧКОВ, Д. Д. МЕДВЕДЕВ, И. О. ЖИГАЛИН

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Пособие

Гомель 2024

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра автоматики, телемеханики и связи

К. А. БОЧКОВ, Д. Д. МЕДВЕДЕВ, И. О. ЖИГАЛИН

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности
для студентов специальности 1-37 02 04
«Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»
в качестве пособия по дисциплине
«Электромагнитная совместимость»*

Гомель 2024

УДК 621.316(075.8)
ББК 22.37
Б86

Рецензенты: доцент кафедры физики и электротехники ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доцент *Д. В. Комнатный*; кафедра автоматизированных систем обработки информации ГГУ им. Ф. Скорины (зав. кафедрой – канд. техн. наук, доцент *А. В. Ворухев*)

Бочков, К. А.

Б86 Обеспечение электромагнитной совместимости технических средств: пособие / К. А. Бочков, Д. Д. Медведев, И. О. Жигалин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 80 с.
ISBN 978-985-891-185-0

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.

Предназначен для студентов дневной формы обучения, обучающихся по специальности 1-37 02 04 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», для методической помощи по дисциплине «Электромагнитная совместимость».

УДК 621.316(075.8)
ББК 22.37

ISBN 978-985-891-185-0

© Бочков К. А., Медведев Д. Д., Жигалин И. О., 2024
© Оформление. БелГУТ, 2024

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».

Настоящее пособие содержит в себе материал, необходимый для выполнения шести лабораторных работ из различных областей электромагнитной совместимости. Первый раздел посвящен изучению конструкции и принципа действия различных видов сетевых помехоподавляющих фильтров.

Во втором разделе рассматриваются требования наиболее важных международных стандартов в области ЭМС. В третьем разделе к изучению предлагаются основные устройства и схемы по реализации защитных мероприятий устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (ЖАТС) от воздействий молниевых разрядов. Четвертый и пятый разделы соответственно посвящены изучению методов испытаний технических средств ЖАТС на помехоустойчивость по отношению к электростатическим разрядам и динамическим изменениям напряжения электропитания. В шестом разделе рассматриваются способы измерения излучаемых помех от устройств ЖАТС.

1 СЕТЕВЫЕ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

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 (сетевого) фильтра противодействовать этим помехоизлучениям.

Сетевой фильтр в общем случае представляет собой комплексный блок, главная задача которого – 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 $I_{дп}$, 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.

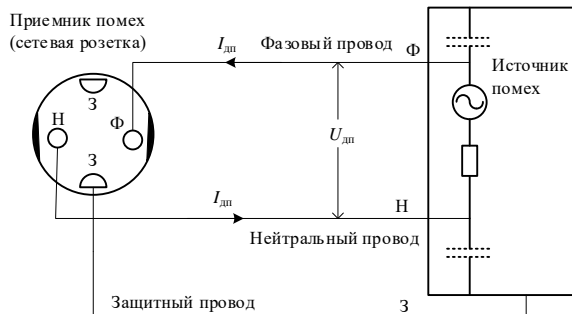


Рисунок 1.1 – Симметричное напряжение помехи

Если ток помехи $I_{\text{нп}}$ течет по обоим проводам Ф 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.

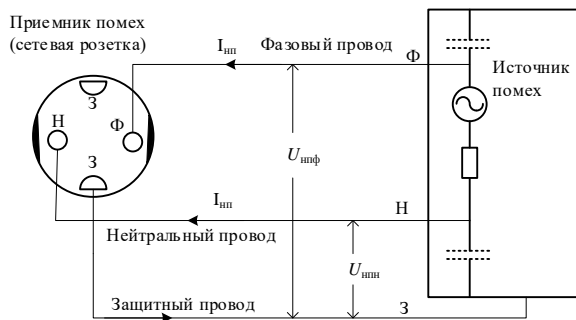


Рисунок 1.2 – Несимметричное напряжение помехи

Если напряжения помех между фазным и защитным, нейтральным и защитным проводами ($U_{\text{нпф}}$ и $U_{\text{нпн}}$) 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 I_N очень малое, а для высокочастотного тока 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:

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

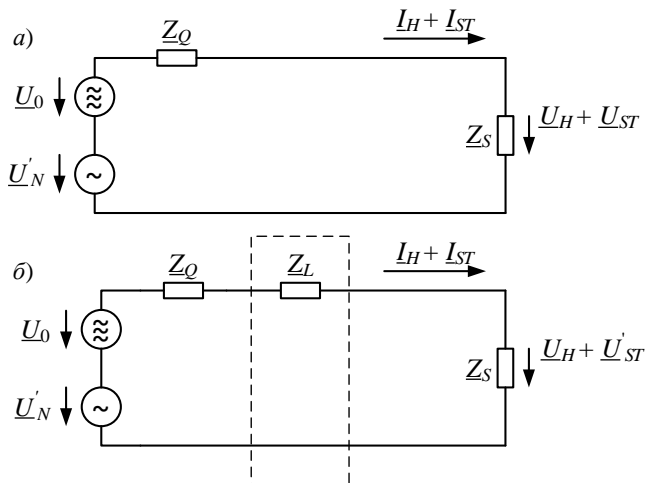


Рисунок 1.3 – Симметричное напряжение помехи:
 а – схема замещения без фильтра; б – схема замещения с фильтром

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

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, 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. Значения емкостей X-конденсаторов лежат в пределах от 0,02 мкФ до нескольких микрофард.

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.

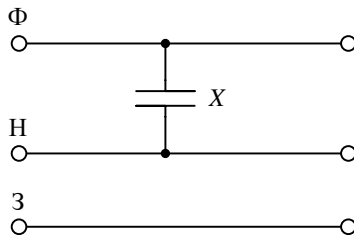


Рисунок 1.4 – Схема включения X-конденсатора

Через конденсаторы, включенные между проводами сети и, как правило, заземленным корпусом прибора (Y_1 и Y_2 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 также между нейтральным и защитным проводами, лежащий в пределах 0,75–3 мА.

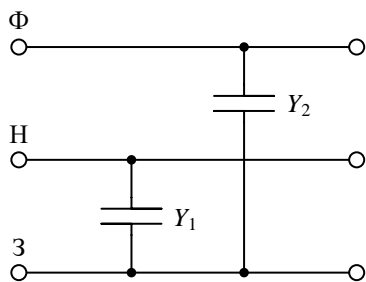


Рисунок 1.5 – Схема включения Y-конденсаторов

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

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

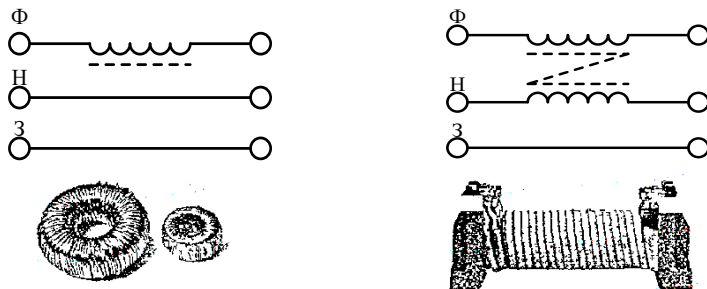


Рисунок 1.6 – Продольные индуктивности

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

В соответствии с исполнением и типом дросселя 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 (рисунок 1.7, *a*) 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 (рисунок 1.7, *б*), следовательно, будет оказывать большее сопротивление напряжению помехи.

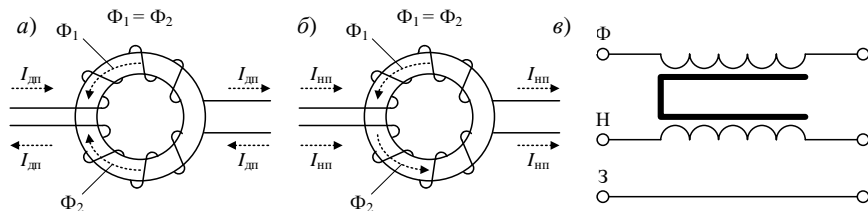


Рисунок 1.7 – Схема включения тококомпенсирующего дросселя

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.

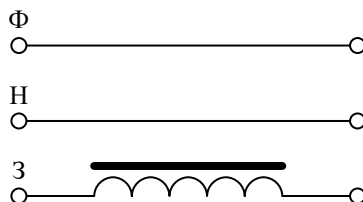


Рисунок 1.8 – Схема включения дросселя защитного провода

1.5 Конструкции сетевых помехоподавляющих фильтров

На рисунке 1.9, *a* 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 от прибора.

Рассмотрим схему замещения этого фильтра при воздействии симметричной помехи (рисунок 1.9, *б*).

Если со стороны сети действует симметричная помеха, то ограничивающее (шунтирующее) действие на нее оказывает X -конденсатор относительно

большой емкости. Как ток сети, так и ток помехи, проходя через тококомпенсирующий дроссель, создает 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 несущественным.

Обобщая сказанное выше, можно сделать вывод, что основное помехозащитное действие напряжениям симметричных помех, при указанной структуре фильтра, оказывает X -конденсатор, причем его помехозащитное 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 1.9, в показана схема замещения сетевого фильтра при действии напряжения 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 также 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 в ряде случаев невозможно.

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

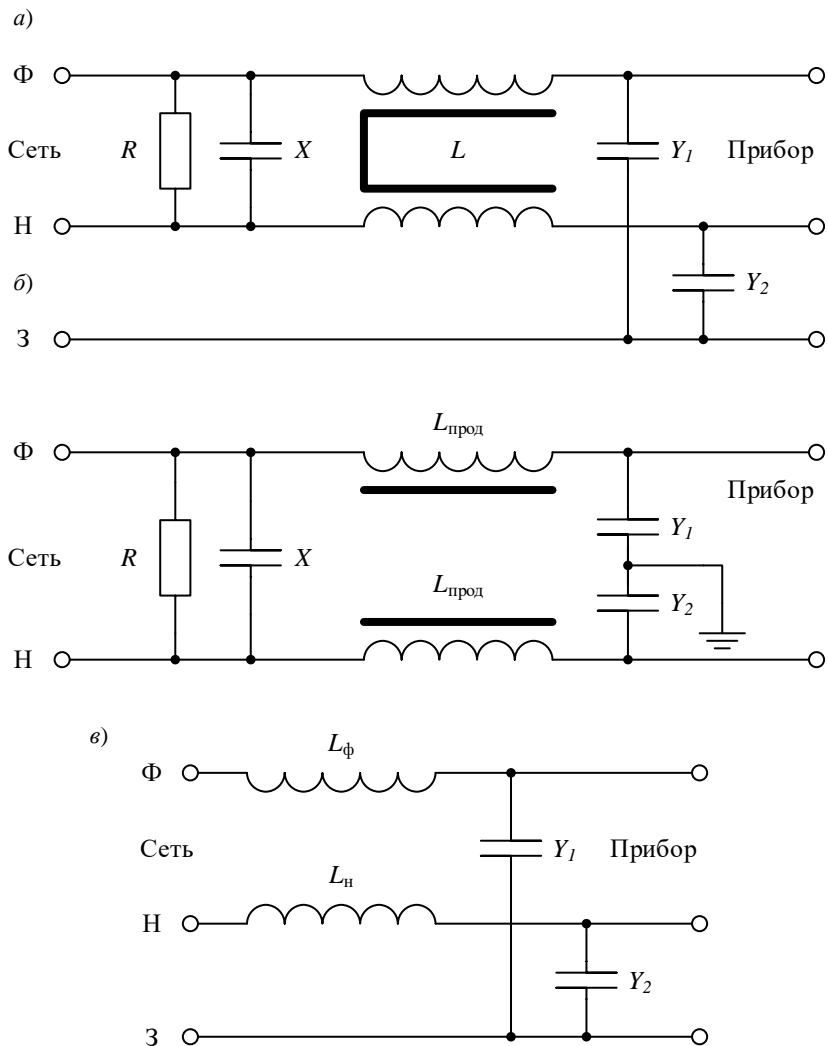


Рисунок 1.9 – Схема сетевого помехоподавляющего фильтра:
a – общая схема; *б* – схема замещения при воздействии симметричных помех;
в – схема замещения при воздействии асимметричной помехи

Схема помехоподавляющего фильтра представлена на рисунке 1.10.

Это фильтр на основе двухобмоточного дросселя, который выполнен на тороидальном сердечнике. Число витков приблизительно 10–25, а диаметр провода тем больше, чем выше ток. Необходимо учесть, что индуктивность

обмотки пропорциональна числу витков и зависит от магнитной проницаемости сердечника, а большая индуктивность является залогом лучшего подавления помех. Каждая обмотка дросселя $L1$ включена последовательно с линейными проводами питающей сети. По этой причине низкочастотные поля частотой 50 Гц в каждой обмотке имеют противоположные направления и взаимно компенсируют друг друга. В случае, если токи через фазовый и нейтральный провода отличаются друг от друга из-за помеховых токов, проникающих через заземление, индуктивность их ослабляет. При воздействии помехи на провода питания, обмотки трансформатора оказываются включенными последовательно, а их индуктивное сопротивление XL растет с увеличением частоты помех: $XL = \omega L = 2\pi fL$, где f – частота помех; L – индуктивность включенных последовательно обмоток трансформатора. К тому же двухобмоточный дроссель способствует затуханию помех симметричного типа (фаза/нейтраль), сглаживая нарастающие фронты помеховых пиков напряжения.

Сопротивление конденсаторов $C1, C2$, наоборот, уменьшается с ростом частоты ($Xc = 1 / \omega C = 1 / 2\pi fC$), следовательно, помехи и резкие скачки «закорачиваются» на входе и выходе фильтра. Такую же функцию выполняют конденсаторы $C3$ и $C4$.

Резистор $R1$ обеспечивает быстрый разряд конденсаторов $C1$ – $C4$ при отключении сетевого шнура от питающей сети и необходим для безопасного обращения с устройством.

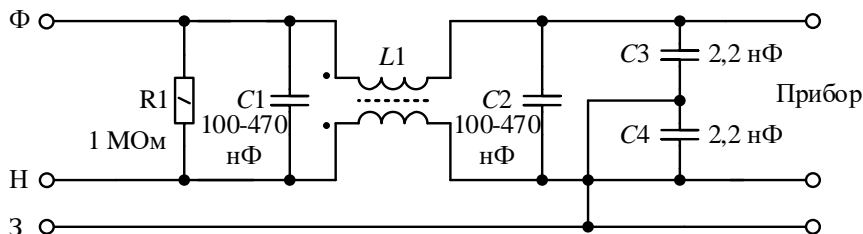


Рисунок 1.10 – Фильтр для подавления помех от питающей сети

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. подразд. 1.3) может вызывать сильно различающееся затухание. Поэтому практически не-

возможно задать общую характеристику фильтра независимо от конкретных условий, а 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 1.11.

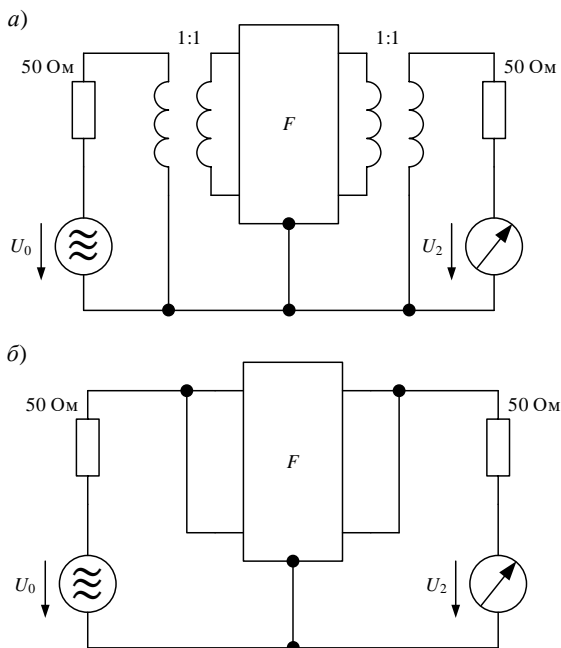


Рисунок 1.11 – Схема для измерения коэффициента затухания сетевых фильтров:
 а – симметричного; б – асимметричного

Паспортные данные о коэффициенте затухания $a_e(f)$ можно использовать лишь при конкретных обстоятельствах: 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_Q и Z_S .

Цель выполнения работы – изучить конструкции и принцип действия сетевых помехоподавляющих фильтров, научиться определять характеристики сетевых фильтров.

Порядок выполнения работы

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

2 По прилагаемым образцам 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 Объясните принцип действия тококомпенсирующего дросселя.
- 9 Чем ограничивается емкость Y-конденсаторов?
- 10 Объясните принцип работы простейшего сетевого фильтра.
- 11 Какие способы повышения эффективности помехоподавления в сетевых фильтрах вы знаете?

2 ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ СЕРИИ ГОСТ 30804

2.1 Область распространения и цель

Стандарты серии 30804 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 – 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 – испытания), а также номенклатуру видов испытаний.

Стандарты не распространяются на ТС, устанавливаемые на подвижных объектах.

Цель 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 30804, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Терминология, применяемая в стандартах серии 30804

| 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 |

Окончание таблицы 2.1

| Термин | Пояснение |
|---|---|
| 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 |
| 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 дифференциального вида | Напряжение между любыми двумя проводниками из заданной группы активных проводников |
| <i>Примечание</i> – Временными параметрами импульса напряжения являются время нарастания между 10 и 90 % амплитуды; длительность на уровне 50 % амплитуды между нарастанием и спадом. | |

2.2 Основные положения

1 Электромеханические устройства и приборы производственного и культурно-бытового назначения были в основном малочувствительными 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, комитеты по стандартизации, пользователи и производители должны установить уровни устойчивости к воздействию помех различного вида (далее – 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.

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.

2.3 Условия эксплуатации

Рассмотрим специфические условия электромагнитной обстановки и особенности установки ТС на месте эксплуатации.

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.

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.

3 Электростатические помехи

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

4 Магнитные помехи

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

5 Радиочастотные электромагнитные помехи

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

2.4 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.

2.5 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.

2.6 Оценка результатов испытаний

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

Таблица 2.2 – Критерии качества функционирования

| Критерий 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 |
| <i>D</i> | Нарушение функционирования или ухудшение параметров, требующее ремонта из-за выхода из строя оборудования или компонентов |

Критерии качества функционирования *A*, *B* или *C* при испытаниях ТС, а также порядок оценки результатов испытаний должны быть установлены в стандартах и (или) ТУ на ТС конкретного типа.

2.7 Условия проведения испытаний

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

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.

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

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.

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

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

2.8 Краткое описание испытаний

2.8.1 Испытания на устойчивость к провалам напряжения и кратковременным перерывам питания

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

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 ГОСТ 30804.4.11.

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

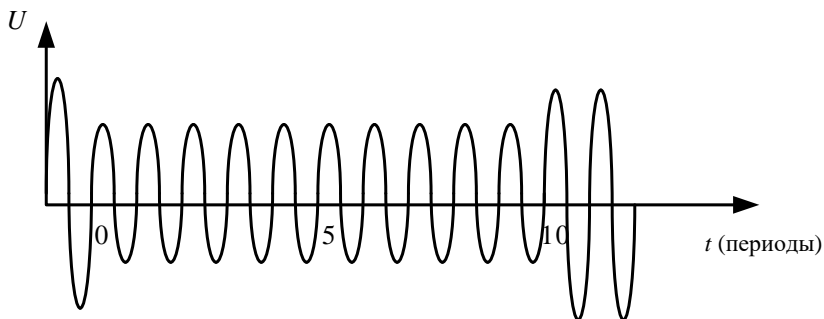


Рисунок 2.1 – Вариант динамических изменений напряжения

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

4 Испытательное оборудование.

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.2.

Изменения напряжения должны возникать при переходе питающего напряжения через ноль.

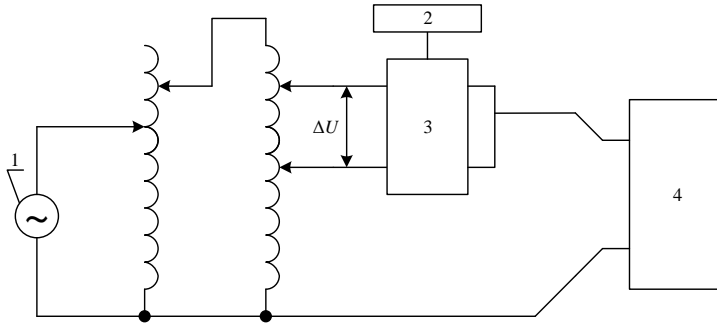


Рисунок 2.2 – Упрощенная схема испытательного генератора колебаний напряжения:

1 – источник питания; 2 – управление; 3 – коммутирующее устройство;
4 – испытуемое техническое средство (ИТС)

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.

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.

2.8.2 Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии

1 Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к микросекундным импульсным помехам большой энергии¹⁾, образуемым

¹⁾ Импульсам напряжения / тока длительностью 1/50 и 6,4/16 мкс соответственно.

переходными процессами от молниевых разрядов и различного рода переключений.

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 ГОСТ Р 51317.4.5.

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.

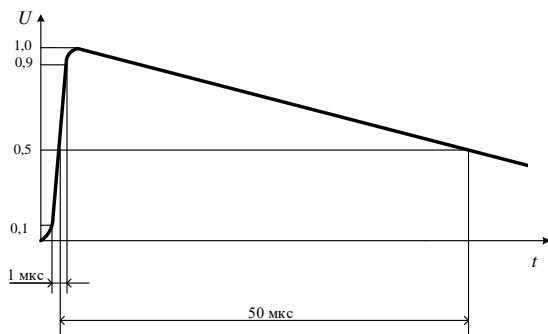


Рисунок 2.3 – Форма импульса напряжения длительностью 1/50 мкс на ненагруженном выходе испытательного генератора

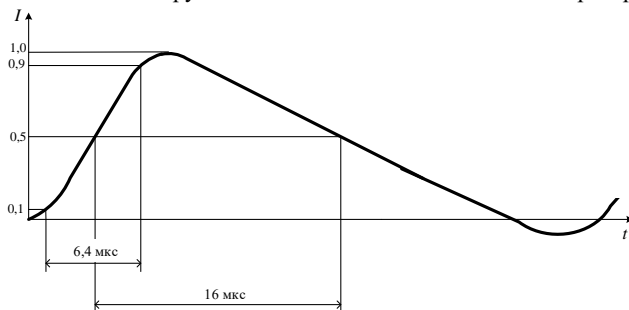


Рисунок 2.4 – Форма импульса тока длительностью 6,4/16 мкс на короткозамкнутом выходе испытательного генератора

4 Испытательное оборудование.

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.5.

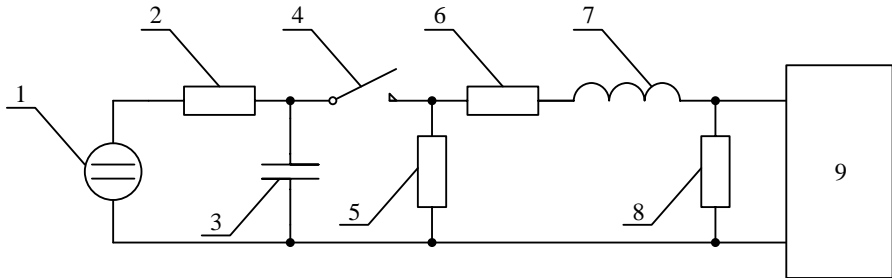


Рисунок 2.5 – Упрощенная схема испытательного генератора микросекундных импульсных помех большой энергии:

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

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.

5 Степени жесткости испытаний.

Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Степень жесткости испытания

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

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.

2.8.3 Испытания на устойчивость к наносекундным импульсным помехам

1 Цель испытаний – оценить соответствие ТС требованиям по устойчивости к помехам в виде пачек наносекундных импульсов¹⁾, возникающим в цепях электропитания и в цепях ввода – вывода в результате процессов коммутации.

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 ГОСТ 30804.4.4.

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.

4 Испытательное оборудование.

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.8.

¹⁾ Импульсов напряжения длительностью $n \cdot 50 \text{ нс}$, где n – число импульсов.

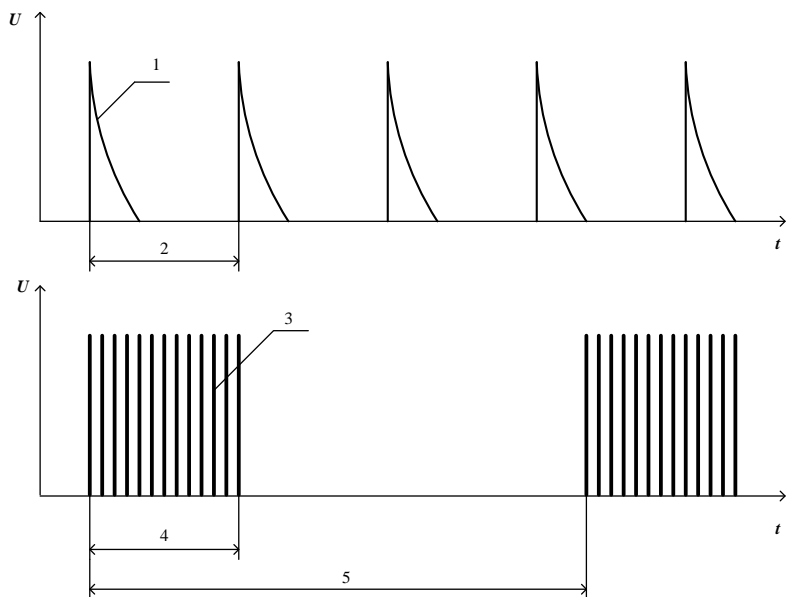


Рисунок 2.6 – Пачки испытательных наносекундных импульсов:
 1 – импульс; 2 – период повторения импульсов; 3 – пачка импульсов; 4 – длительность пачки импульсов (15 нс); 5 – период повторения пачек импульсов (300 мс)

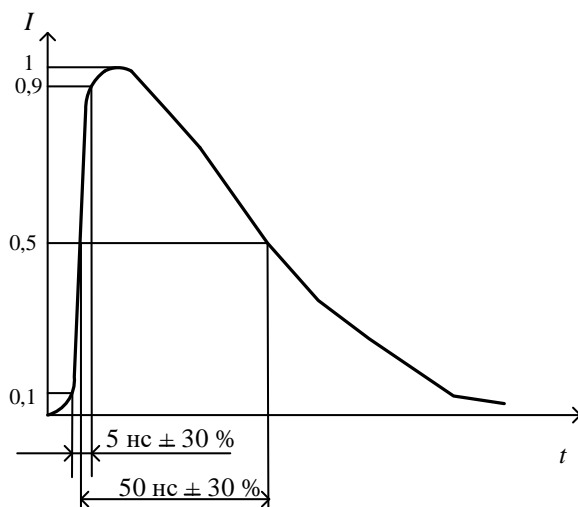


Рисунок 2.7 – Форма испытательного наносекундного импульса

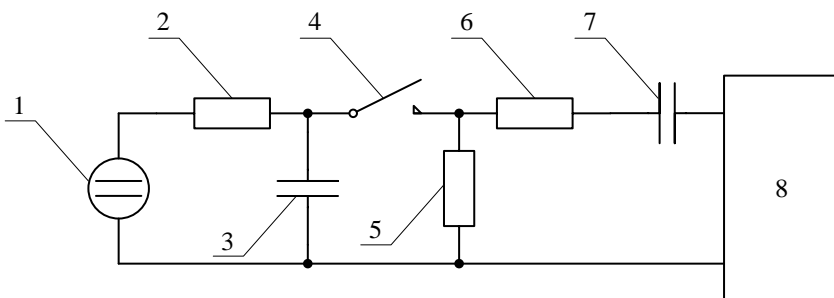


Рисунок 2.8 – Упрощенная схема генератора наносекундных импульсных помех: 1 – источник высокого напряжения; 2 – зарядный резистор; 3 – накопительный конденсатор; 4 – разрядник; 5 – резистор цепи формирования длительности импульса; 6 – согласующий резистор; 7 – разделительный конденсатор; 8 – ИТС

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 Ом $\pm 30\%$;

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

5 Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Степень жесткости испытания

| 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 | |

2.8.4 Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам

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

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 ГОСТ 30804.4.2.

3 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.

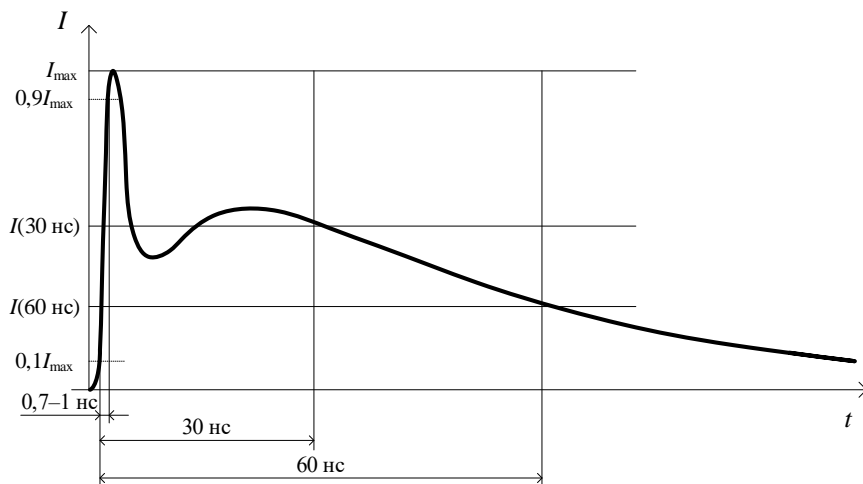


Рисунок 2.9 – Форма импульса разрядного тока испытательного генератора электростатических разрядов

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

4 Испытательное оборудование.

Упрощенная схема испытательного генератора приведена на рисунке 2.10. 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).

5 Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.5.

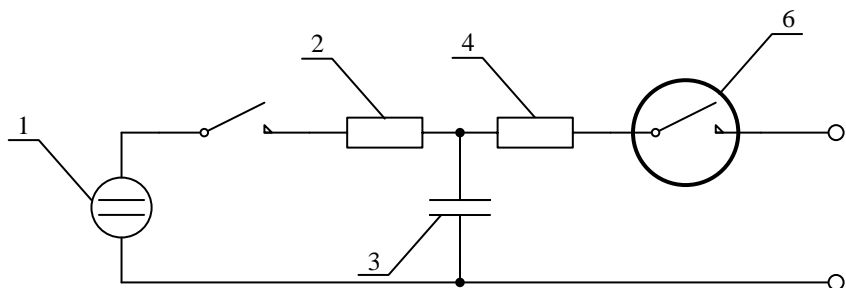


Рисунок 2.10 – Упрощенная схема испытательного генератора электростатических разрядов:

1 – источник высокого напряжения; 2 – зарядный резистор;

3 – зарядный конденсатор; 4 – разрядный резистор; 5 – разрядный ключ

Таблица 2.5 – Степень жесткости испытания

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

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, которые возникают между объектами, находящимися вблизи ИТС, имитируют при испытаниях контактными разрядами на плоскости связи.

2.8.5 Испытания на устойчивость к магнитному полю с частотой питающей сети

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

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 ГОСТ Р 50648.

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

4 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;

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

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

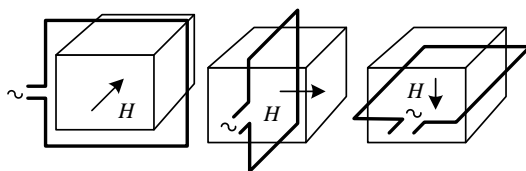


Рисунок 2.11 – Индукционная катушка для испытаний ТС малого размера на устойчивость к магнитным полям

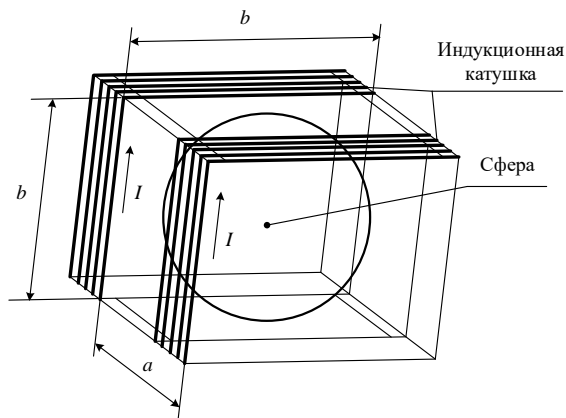


Рисунок 2.12 – Катушка Гельмгольца для испытаний ТС малого размера на устойчивость к магнитным полям

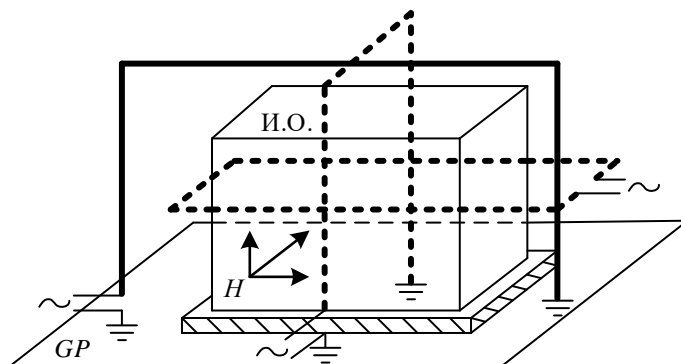


Рисунок 2.13 – Индукционная катушка для испытаний ТС значительного размера на устойчивость к магнитным полям

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.

5 Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Степень жесткости испытания

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

6 Особенности проведения испытаний.

Испытания проводят в условиях испытательной лаборатории.

2.8.6 Испытания на устойчивость к импульсному магнитному полю

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

2 Область применения.

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

Испытания проводят в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ ИЕС 61000-4-9.

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).

4 Испытательное оборудование.

Используют индукционные катушки идентичные применяемым при испытаниях на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты.

5 Степени жесткости испытаний приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Степень жесткости испытания

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

Цель выполнения работы – изучение технических требований и методов испытаний стандартов: ГОСТ 30804.4.11, -4.2, -4.4, -4.5; ГОСТ Р 51317.4.5; ГОСТ Р 50648; ГОСТ ИЕС 61000-4-9.

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, отразить в них 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 ГОСТ 30804.
- 2 Основные положения стандартов серии 30804.
- 3 Опишите виды испытаний применительно к техническим средствам.
- 4 Что следует учитывать при выборе степеней жесткости испытаний?
- 5 Как осуществляется оценка результатов испытаний для стандартов серии 30804?
- 6 Каковы условия проведения испытаний технических средств по стандартам серии 30804?
- 7 Что понимают под электромагнитной восприимчивостью?
- 8 Что такое степень жесткости испытаний?
- 9 Что такое импульс напряжения, согласно ГОСТ 30804?
- 10 Чем отличается напряжение дифференциального вида от напряжения общего вида?
- 11 Дайте определение уровня электромагнитной совместимости.
- 12 Дайте определение переходного процесса.
- 13 В чем заключается отличие линий питания от линий управления по ГОСТ 30804?

3 ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СХЕМ ГРОЗОЗАЩИТЫ

На нашей планете одновременно существуют около 2000 гроз, вызывая около 100 разрядов молний каждую секунду. 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.

Таблица 3.1 – Параметры разряда молнии для равнинной местности

| Параметр 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 | – |

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.

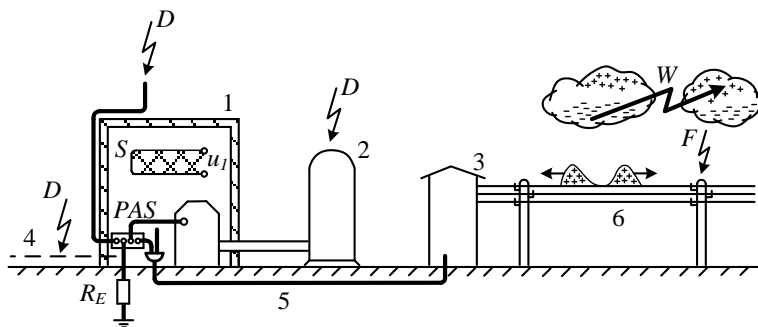


Рисунок 3.1 – Возможные воздействия молнии:

D – непосредственный удар; F – удаленный разряд; PAS – шина выравнивания потенциалов; R_E – сопротивление заземления (0,5–10 Ом); S – петля, образованная проводами; W – разряд между облаками; 1 – защищаемый объект; 2 – часть защищаемого устройства; 3 – трансформаторная подстанция; 4 – кабель линий управления, связи; 5 – кабель низкого напряжения; 6 – воздушная линия электропередачи

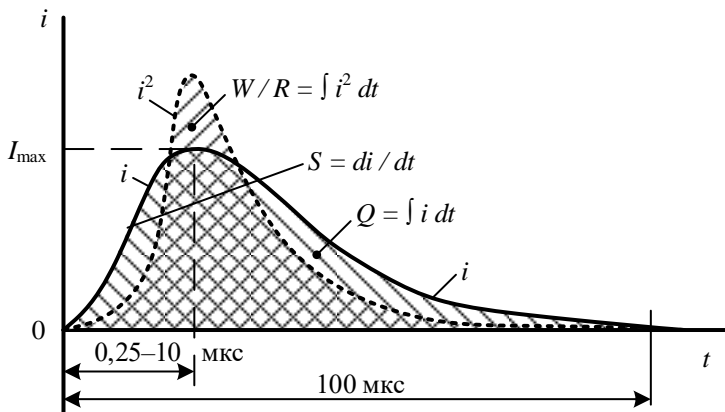


Рисунок 3.2 – Форма импульса тока молнии при разряде с облака на землю

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 | $I_{\max} = 200 \text{ кА};$ $R_E = 5 \text{ Ом};$ $U_{\max} = 1 \text{ МВ}$ | $S = 200 \text{ кА/мкс};$ $a = 10 \text{ м};$ $b = 0,1(10) \text{ м};$ $u_i = 40 \text{ В (216 кВ)}$ | При $Q = 300 \text{ Кл}$ плавятся алюминиевые стенки толщиной до 5мм | При $W/R = 10 \text{ МДж/Ом}$ плавятся медные провода сечением 10 мм и стальные сечением 25 мм |

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.

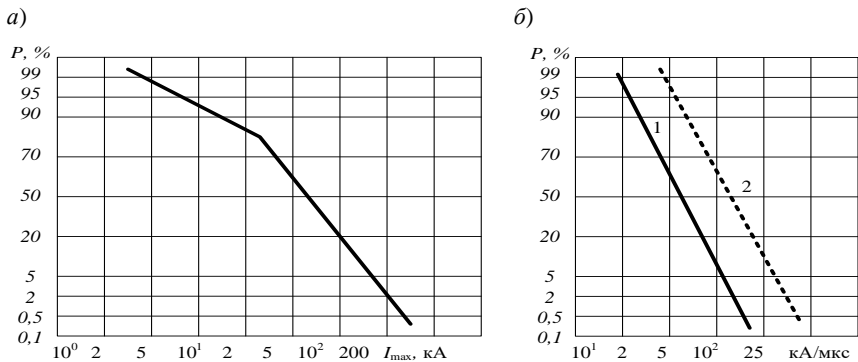


Рисунок 3.3 – Распределение вероятности P максимальных значений токов молнии I_{\max} (а) и крутизны $S = di/dt$ (б) :

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) возникнет интенсивная помеха. Эффективная защита может быть обеспечена экранированием сигнальной линии.

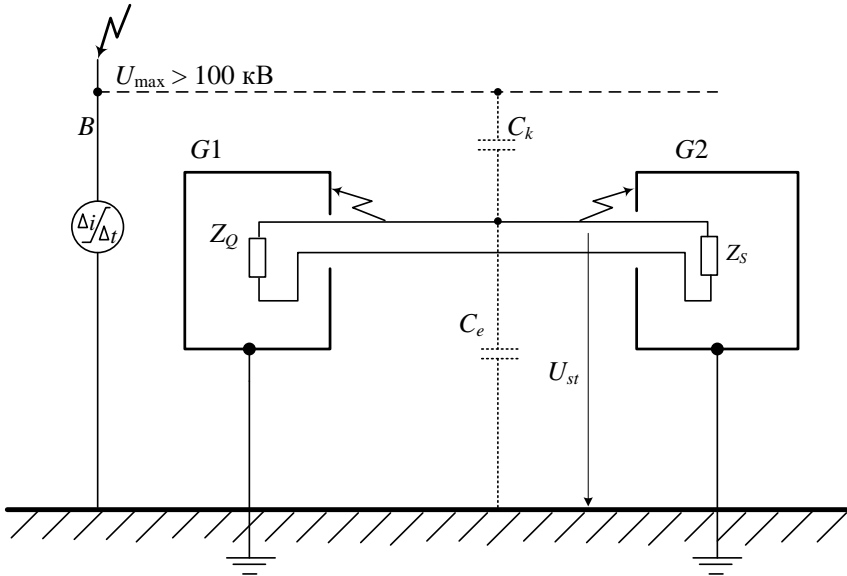


Рисунок 3.4 – Емкостное влияние молнии, на линию:

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

$$Y = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{al}{r_0} \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (3.2)$$

где l и a – длина и ширина контура соответственно.

При выводе (3.2) использованы элементарные соотношения:

$$U_{st} = al\Delta B / \Delta t; \quad B = \mu H; \quad H = i / 2\pi r_0.$$

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.

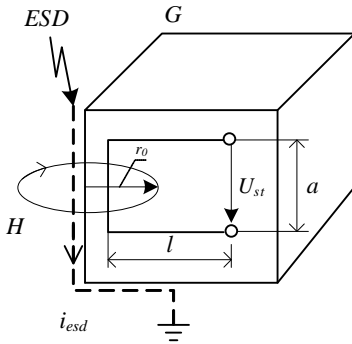


Рисунок 3.5 – Индуктивное влияние разряда статического электричества ESD на петлю la внутри прибора G

Следующие примеры индуктивного влияния показаны на рисунках 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

G_1, G_2 , если не предусмотрены специальные защитные меры.

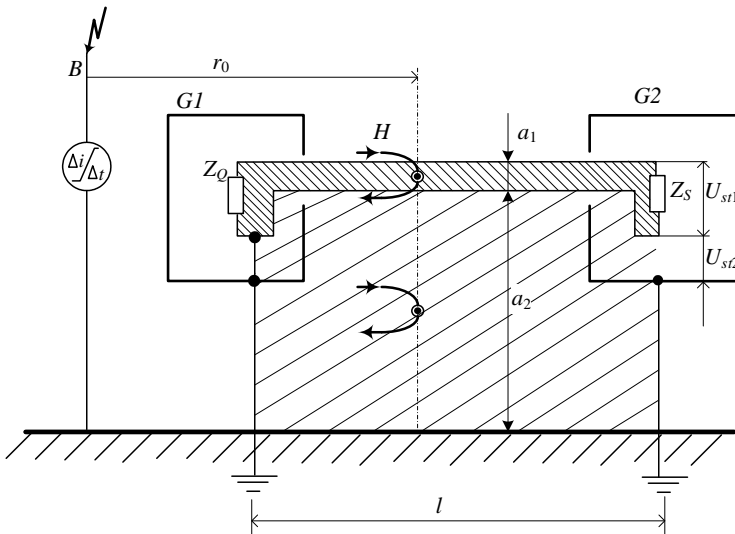


Рисунок 3.6 – Индуктивное влияние тока молнии на электрические контуры в устройстве автоматизации:
 B – канал молнии; G_1, G_2 – приборы устройства

Рисунок 3.7 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 индуктированное в петле напряжение согласно (3.2) достигает 540 кВ. При отсутствии средств защиты включенные в обе сети компьютеры, несомненно, будут выведены из строя.

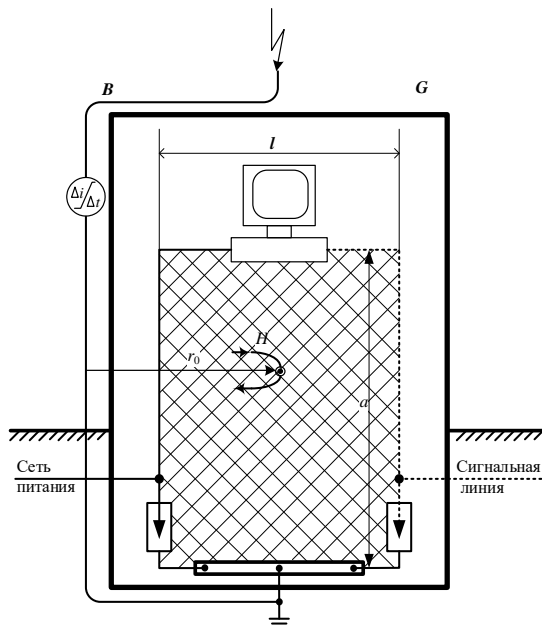


Рисунок 3.7 – Индуктивное влияние тока молнии на электрический контур внутри здания G , образованный проводами питания и сигнальными линиями при в ударе молнии в молниеприемник здания

Снижение индуктированных напряжений предусматривает следующие мероприятия.

1 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.

2 Осуществление связи контуров ортогонально направлению силовым линиям магнитного поля. Этот способ эффективен в устройствах, выполненных в виде катушек.

3 Компенсация индуктированного в контуре напряжения путем скрутки проводов. При этом частичные потоки Φ_i создают напряжения, направленные противоположно.

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

5 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, которые проложены по воздуху, а 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 рабочего напряжения имело место очень большое сопротивление, а при превышении заданного напряжения – очень малое.

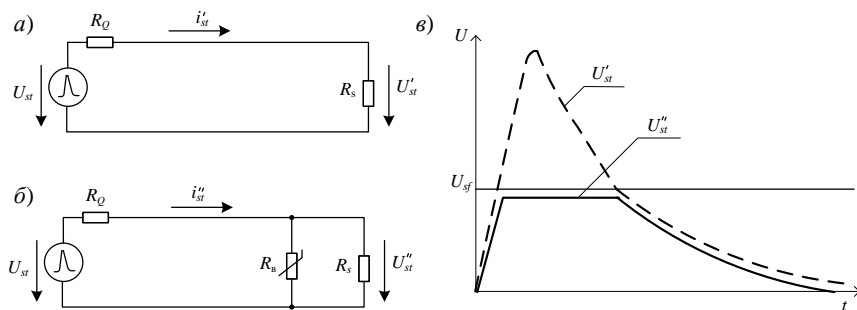


Рисунок 3.8 – Ограничение перенапряжений при помощи нелинейного сопротивления R_B :

a – схема без защиты; *б* – схема с защитой; *в* – изменение напряжения во времени;
 U_{sf} – импульсная прочность входной цепи

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

$$U_{st}^n = U_{st} - i_{st}^n R_Q \quad (3.3)$$

не превышающего импульсную электрическую прочность защищаемого элемента (см. 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).

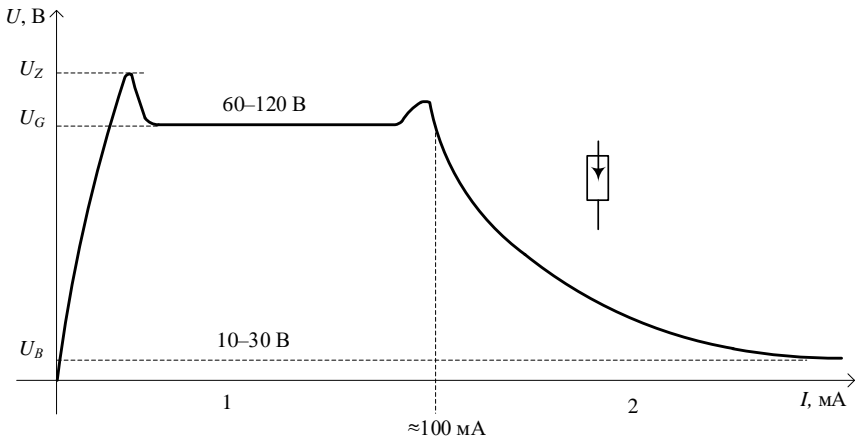


Рисунок 3.9 – Вольтамперная характеристика газонаполненного разрядника с ориентировочными значениями напряжений тлеющего (U_G) и дугового (U_B) разрядов:

U_Z – напряжение зажигания; 1 – область начальных и тлеющих разрядов;

2 – область дуговых разрядов

Напряжение пробоя U_Z газонаполненного разрядника зависит от изменения воздействующего напряжения du/dt (рисунок 3.10). При $du/dt = 100 \text{ В/с}$ определяется статическое U_{Zs} , а при $du/dt = 1 \text{ кВ/мкс}$ – 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.

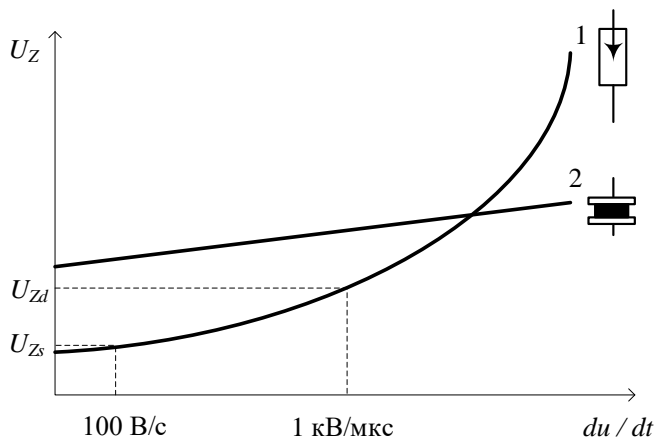


Рисунок 3.10 – Характеристики зажигания газонаполненного разрядника (1) и разрядника со скользящим разрядом (2):

U_{Zs} – статическое напряжение срабатывания; U_{Zd} – динамическое напряжение срабатывания

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.

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, выполняющими 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 пробои,

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 (см. 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

$$I = KU^\alpha, \quad (3.4)$$

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

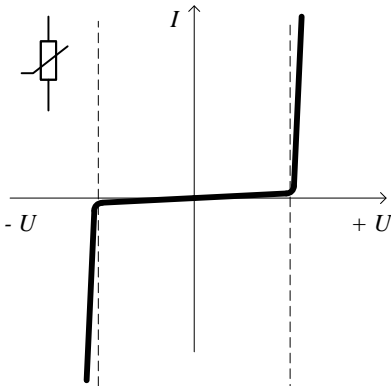


Рисунок 3.12 – Типичная вольт-амперная характеристика варисторов

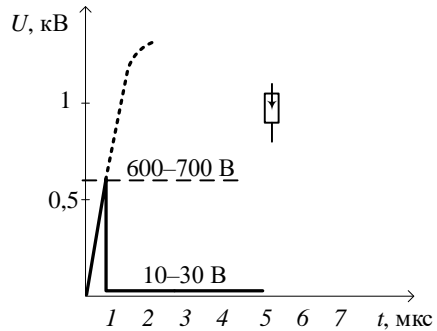


Рисунок 3.11 – Типичная характеристика зажигания газонаполненного разрядника

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 (3.4), сопротивление

$$R = 1 / KU^{\alpha-1} \quad (3.5)$$

уменьшается на много порядков (рисунок 3.12).

Защитный уровень варисторов в зависимости от их исполнения может лежать в диапазоне как 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), поэтому их применение для ограничения перенапряжении в высокочастотных системах исключено.

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

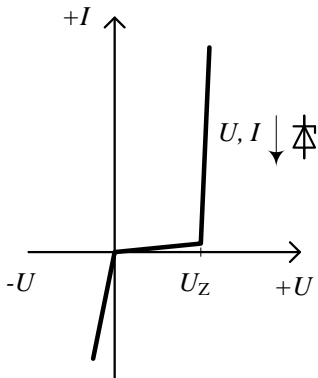


Рисунок 3.13 – Вольт-амперная характеристика Z-диода с напряжением $U_Z = 3 \dots 200$ В

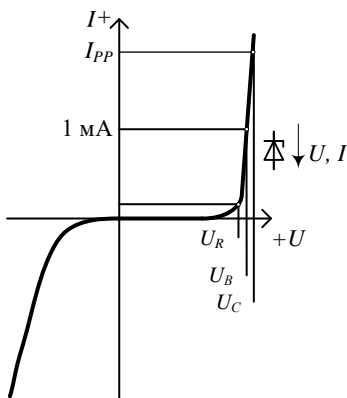


Рисунок 3.14 – Вольт-амперная характеристика стабилитрона и его важнейшие параметры

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 $U_Z = 3 \dots 300$ 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 способностью 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 то $I = 1$ мА; U_C – напряжение ограничения для импульса тока I_{pp} (8/20 мкс) Достижимые уровни ограничения напряжения лежат в диапазоне 6–440 В. Защитные стабилитроны выпускаются также в виде биполярных элементов. Для них $U_R = \pm 6$ В, $U_B = \pm 5,5$ В; $U_C = \pm 12$ В при токе $I_{pp} = 40$ А (8/20 мкс).

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 также 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 *a* и *b* 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, 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).

Важными параметрами, которые необходимо учитывать при выборе защитных сетевых элементов (в распределительной сети, у потребителей, непосредственно в сетевых розетках), являются 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.

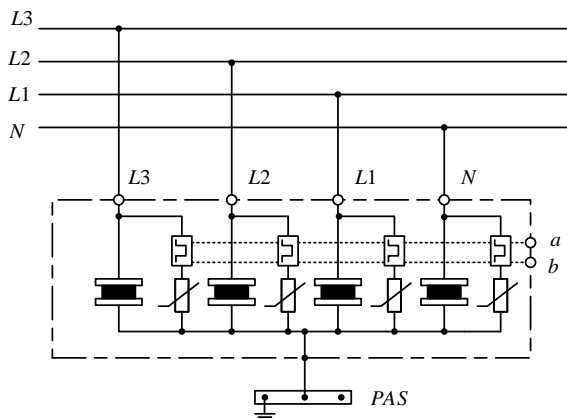


Рисунок 3.15 – Устройство для защиты от перенапряжений при централизованном электропитании устройств оборудования в здании

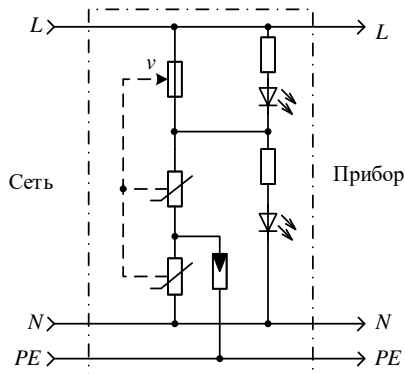


Рисунок 3.16 – Адаптер для защиты от перенапряжений с контролем термического режима варисторов и передачей сигнала о дефекте по светодиоиду

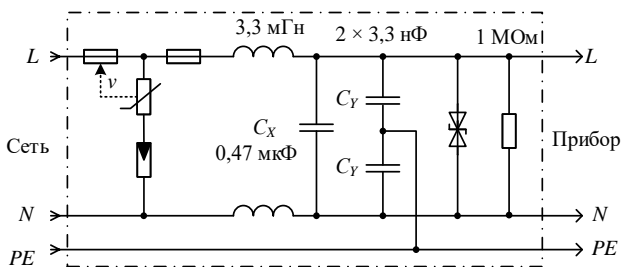


Рисунок 3.17 – Адаптер-розетка для защиты от перенапряжений со встроенным сетевым фильтром на 220 В

Эти требования удовлетворяются в многоступенчатых схемах. На рисунке 3.18 приведена схема одного из таких устройств, состоящего из газо-наполненного разрядника, металлооксидного варистора (грубая защита) и ограничительного стабилитрона (тонкая защита) (под графиками указано время срабатывания ступеней). 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 проходящий импульс (10 кВ) со скоростью изменения напряженно 1 кВ/мкс ступенчато ограничивается до 35 В.

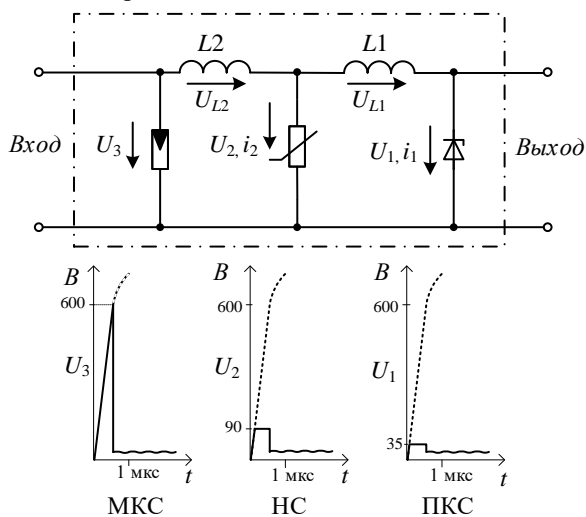


Рисунок 3.18 – Трехступенчатый ограничитель перенапряжения с газо-наполненным разрядником, варистором (грубая защита) и стабилитроном (тонкая защита)

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).

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 нкс, ограничивает напряжение крутизной 1 кВ/мкс до 20 В и позволяет передавать информацию до 40 Кбайт/с.

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.

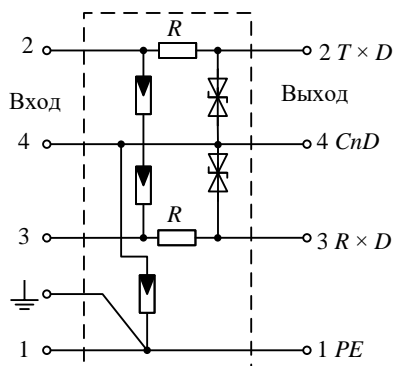


Рисунок 3.19 – Блок защиты от перенапряжений для устройства V.24/RS232 C: 1 – защитное заземление; 2 – вывод данных; 3 – ввод данных; 4 – рабочее заземление, система опорного потенциала

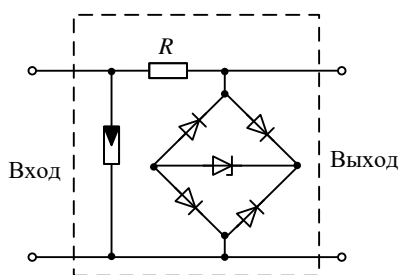


Рисунок 3.20 – Блок защиты от перенапряжений для коаксиальных линий

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 доступные средства обеспечения электромагнитной совместимости.

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

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 Разрядники и искровые промежутки.
- 6 Варисторы. Принцип работы.
- 7 Кремниевые лавинные диоды. Принципы применения.
- 8 Защита РЭА по цепям питания.
- 9 Защита линий передачи данных.

4 ИСПЫТАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ КОМПЛЕКСОМ SCHAFFNER BEST EMC (ГОСТ 30804.4.2)

ГОСТ 33436.4-1 [4] устанавливает требования и методы испытаний технических средств (ТС) железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) по обеспечению электромагнитной совместимости в части устойчивости к внешним электромагнитным помехам различных видов и ограничения помехоэмиссии, включая нормы создаваемых электромагнитных помех. ГОСТ 33436.4-1 определяет ГОСТ 30804.4.2 в качестве стандарта для испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам ТС ЖАТ со степенью жесткости 3.

ГОСТ 30804.4.2 устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к электростатическим разрядам как при прямом воздействии электростатических разрядов от оператора, так и непрямом воздействии от оператора на предметы и оборудование, расположенные вблизи ТС. Стандарт устанавливает степени жесткости испытаний, учитывающие различные условия окружающей среды и эксплуатации ТС, а также устанавливает процедуры испытаний.

ГОСТ 30804.4.2 распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные средства железнодорожной автоматики и телемеханики.

4.1 Общие сведения об испытательном оборудовании

Испытательное оборудование Schaffner Best emc позволяет проводить испытание устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на электромагнитную совместимость.

Управление осуществляется напрямую (через переднюю панель, кнопки и дисплей) или дистанционно (через ПК с помощью программного пакета WINBEST) (рисунок 4.1).

Аппаратура позволяет проводить следующие виды испытаний:

- Испытания на устойчивость к наносекундным импульсным помехам (BURST) в соответствии с методами испытаний ГОСТ 30804.4.4;
- Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам (SURGE) в соответствии с требованиями ГОСТ IEC 61000-4-5;
- Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам (ESD) в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.2;

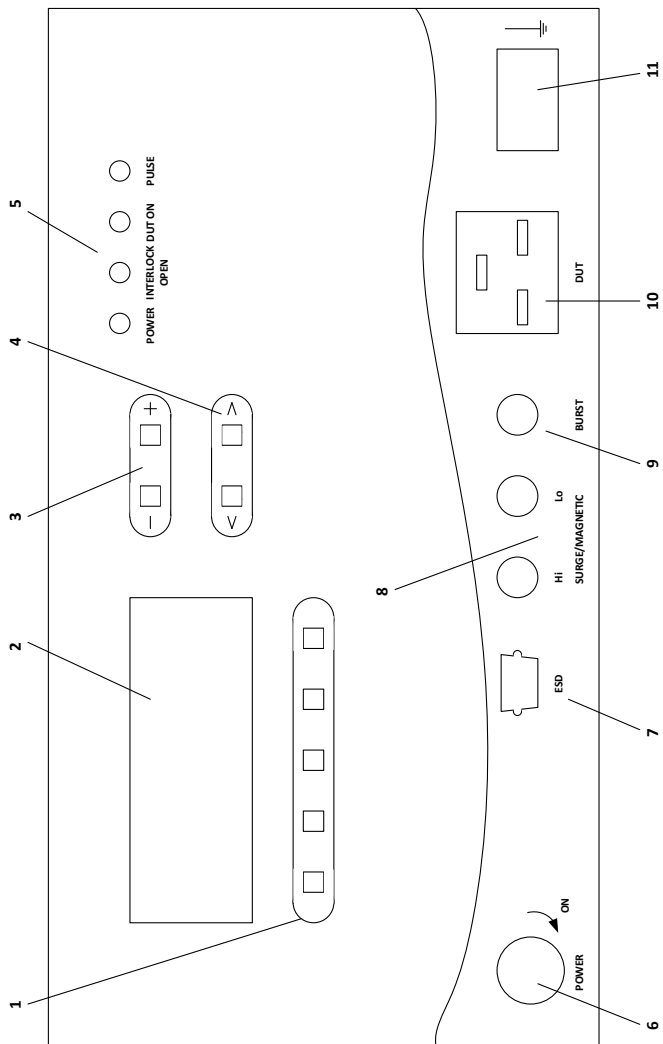


Рисунок 4.1 – Внешний вид испытательного оборудования Schaffner BEST emc:

- 1 – программные клавиши; 2 – дисплей; 3 – клавиши управления параметрами; 4 – клавиши курсора; 5 – световндикация;
- 6 – выключатель питания; 7 – кабель электростатического разрядника; 8 – выход для подключения импульсно-магнитного кабеля;
- 9 – разъем для подключения кабеля для теста на устойчивость к наносекундным импульсным помехам;
- 10 – разъем для подключения ИТС; 11 – блок заземления

– Испытания на устойчивость к провалам напряжения и кратковременным прерываниям питания (Transient) в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.11;

– Испытания на устойчивость к магнитному (Transient) полю с частотой питающей сети в соответствии с требованиями ГОСТ IEC 61000-4-8;

– Испытания на устойчивость к импульсному (Transient) магнитному полю в соответствии с требованиями ГОСТ IEC 61000-4-9.

4.2 Технические характеристики и качество функционирования испытательного генератора

Испытательный генератор должен соответствовать требованиям, установленным в таблицах 4.1 и 4.2. Идеальная форма разрядного тока испытательного генератора представлена на рисунке 4.2, там же приведены измерительные точки, применительно к которым установлены требования таблиц 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Общие требования к испытательному генератору

| Параметр | Значение |
|--|-------------------------------|
| Выходное (испытательное) напряжение, контактный разряд | От 1 до 8 кВ |
| Выходное (испытательное) напряжение, воздушный разряд | От 2 до 15 кВ |
| Погрешность индикации выходного напряжения | $\pm 5\%$ |
| Полярность выходного напряжения | Положительная и отрицательная |
| Время удержания заряда | >5 с |
| Вид разряда | Одиночный разряд |

Таблица 4.2 – Параметры импульса разрядного тока при контактном разряде

| Степень жесткости испытаний | Испытательное напряжение, кВ | Ток первого максимума ($\pm 15\%$), А | Время нарастания t_r ($\pm 25\%$), нс | Ток разряда при 30 нс ($\pm 30\%$), А | Ток разряда при 60 нс ($\pm 30\%$), А |
|-----------------------------|------------------------------|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 7,5 | 0,8 | 4 | 2 |
| 2 | 4 | 15 | 0,8 | 8 | 4 |
| 3 | 6 | 22,5 | 0,8 | 12 | 6 |
| 4 | 8 | 30 | 0,8 | 16 | 8 |

Примечания

1 Опорной точкой измерения времени 30 и 60 нс для разрядного тока является момент, когда разрядный ток впервые достигает 10 % значения первого максимума разрядного тока.

2 Время нарастания t_r – промежуток времени между моментами, когда разрядный ток достигает 10 и 90 % значения первого максимума разрядного тока.

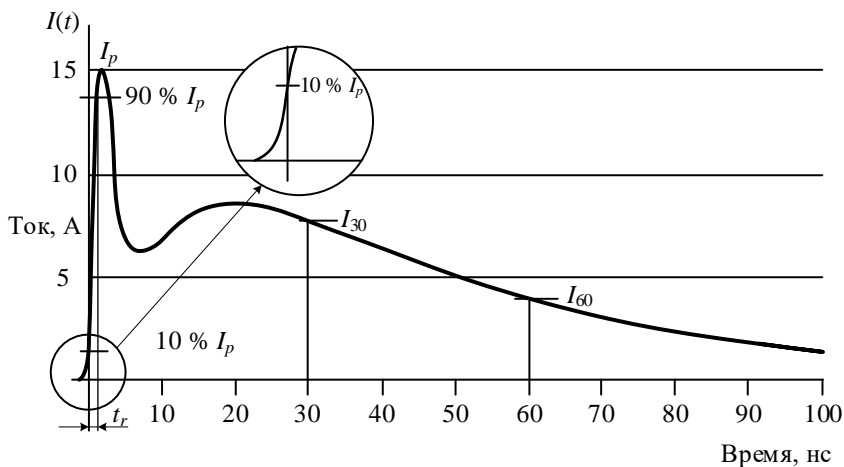


Рисунок 4.2 – Форма разрядного тока испытательного генератора (контактный разряд, испытательное напряжение 4 кВ)

Уравнение для идеальной формы разрядного тока $I(t)$:

$$I(t) = \frac{i_1}{k_1} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{i_2}{k_2} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right), \quad (4.1)$$

где $k_1 = \exp\left(-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right)$, $k_2 = \exp\left(-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right)$, $\tau_1 = 1,1$ нс, $\tau_2 = 2$ нс,

$\tau_3 = 12$ нс, $\tau_4 = 37$ нс, $i_1 = 16,6$ А (при 4 кВ), $i_2 = 9,3$ А (при 4 кВ), $n = 1,8$.

В конструкции испытательного генератора должны быть предусмотрены устройства, предотвращающие создание непреднамеренных излучаемых или кондуктивных электромагнитных помех импульсного или непрерывного характера с тем, чтобы паразитные эффекты не оказывали влияния на испытуемое или вспомогательное оборудование.

Форма и размеры разрядных электродов испытательного генератора должны соответствовать приведенным на рисунке 4.3.

Допускается применение изолирующего покрытия электродов, при этом должны соблюдаться требования, предъявляемые к форме разрядного тока.

Для испытаний методом воздушного разряда используют испытательный генератор, применяемый при проведении испытаний методом контактного

разряда, при этом разрядный ключ должен быть замкнут. Испытательный генератор должен быть снабжен закругленным наконечником в соответствии с рисунком 4.3, а. Поскольку используется один и тот же испытательный генератор, требования, относящиеся к методу воздушного разряда, дополнительно не приводятся.

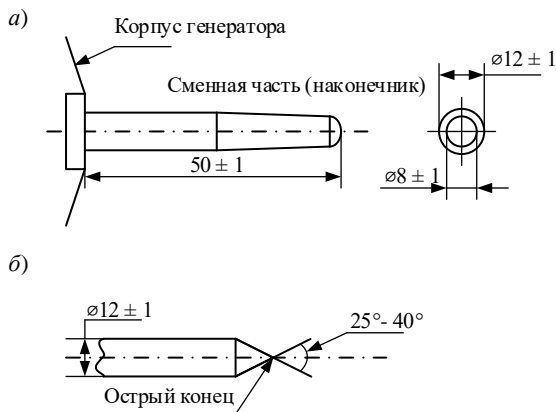


Рисунок 4.3 – Разрядные наконечники испытательного генератора для испытания методом воздушного (а) и контактного (б) разрядов

Длина провода заземления испытательного генератора должна быть $(2 \pm 0,05)$ м, а его конструкция должна обеспечивать выполнение требований к форме генерируемых импульсов разрядного тока. Длину провода заземления измеряют от корпуса генератора до конца точки соединения. Изоляция провода заземления испытательного генератора должна исключать утечку разрядного тока на обслуживающий персонал или через проводящие поверхности при испытаниях на устойчивость к электростатическим разрядам.

Провод заземления, использующийся при испытаниях, должен быть тем же самым или идентичным проводу, использующемуся во время калибровки.

При недостаточной длине провода заземления испытательного генератора (например, при значительной высоте испытуемых ТС) допускается использовать провод заземления испытательного генератора длиной до 3 м при обеспечении выполнения требований к форме генерируемых импульсов разрядного тока.

4.3 Проведение испытаний

Испытания проводятся при прямом и непрямом воздействиях электростатическими разрядами на испытуемое ТС в соответствии с программой испытаний, которая должна включать в себя:

- условия работы испытуемого ТС;

- условия испытаний ИТС в качестве настольного или напольного оборудования;
- точки, к которым должны быть приложены разряды;
- указание о том, какой разряд (контактный или воздушный) должен быть приложен к каждой точке:
 - степень жесткости испытаний;
 - число разрядов, приложенных к каждой точке для полного выполнения испытания;
- необходимость проведения испытаний на месте эксплуатации.

Допускается проведение исследовательских испытаний для определения отдельных положений программы испытаний.

Оборудование Schaffner Best emc позволяет применять оба метода проведения испытания на устойчивость к электростатическим разрядам.

4.3.1 Испытательная установка для испытаний ТС в испытательной лаборатории

Рабочее место для испытаний (рисунок 4.4) представляет из себя стол из непроводящего материала высотой $(0,8 \pm 0,08)$ м, установленный на пластину заземления.

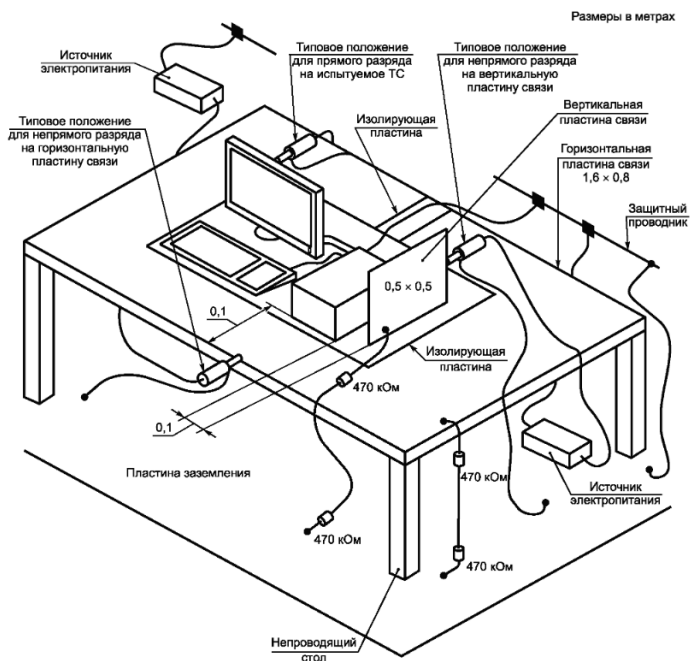


Рисунок 4.4 – Пример рабочего места для испытаний настольных ТС в условиях испытательной лаборатории

На столе должна быть размещена горизонтальная пластина связи размерами $(1,6 \pm 0,02)$ $(0,8 \pm 0,02)$ м.

Испытуемое ТС и кабели должны быть изолированы от плоскости связи изоляционной опорой толщиной $(0,5 \pm 0,05)$ мм.

Если испытуемое ТС слишком велико, чтобы его можно было располагать на расстоянии не менее 0,1 м от всех сторон горизонтальной пластины связи, должна быть использована дополнительная идентичная горизонтальная пластина связи, размещенная на расстоянии $(0,3 \pm 0,02)$ м от первой горизонтальной пластины связи. В этом случае должен использоваться стол большего размера или допускается использовать два стола. Горизонтальные пластины связи не должны касаться друг друга и должны быть соединены с пластиной заземления проводами с резисторами. Съёмные монтажные ножки испытуемого оборудования следует оставлять на местах.

4.3.2 Прямое воздействие электростатическими разрядами

Электростатические разряды должны быть поданы только к тем точкам и поверхностям испытуемого ТС, которые доступны обслуживающему персоналу при эксплуатации испытуемого ТС. Установлены следующие исключения, согласно которым электростатические разряды не подаются на точки, указанные ниже:

а) точки и поверхности, доступные только при техническом обслуживании. В этом случае в технической документации должны быть указаны процедуры исключения влияния электростатических разрядов;

б) точки и поверхности, доступные только при проведении обслуживания испытуемого ТС конечным пользователем. Примером таких точек (точек редкого доступа) могут служить контакты батарей при зарядке батарей, касета в телефонном аппарате с автоответчиком и т. д.;

в) точки и поверхности испытуемого ТС, не доступные после окончания монтажа оборудования и указанные в эксплуатационных документах, например нижняя часть ТС или часть, прилегающая к стене, либо зоны за установленными соединителями;

г) контакты коаксиальных и многоштырьковых соединителей с металлическим патроном соединителя. При этом доступные контакты в непроводящем соединителе (например, в пластиковом) должны испытываться только воздушным электростатическим разрядом;

д) контакты соединителей или другие доступные части, восприимчивые по своим функциональным характеристикам к электростатическим разрядам, которые имеют предупреждающие надписи, например радиочастотные входы для проведения измерений, выполнения функции приема и других функций связи.

При подаче электростатических разрядов на соединители должны рассматриваться шесть случаев их подачи, указанных в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Случаи подачи электростатических разрядов на соединители

| Патрон соединителя | Материал покрытия | Воздушный разряд | Контактный разряд |
|--------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| 1 Металлический | Нет | Не применяют | На патрон |
| 2 Металлический | Изолированный | На покрытие | На патрон |
| 3 Металлический | Металлический | Не применяют | На патрон и покрытие |
| 4 Изолированный | Нет | * | Не применяют |
| 5 Изолированный | Изолированный | На покрытие | Не применяют |
| 6 Изолированный | Металлический | Не применяют | На покрытие |

* Если в стандарте на конкретную продукцию установлено требование испытания отдельных штырьков изолированного соединения, применяют метод воздушного разряда.

Примечание – Если используется покрытие для экранирования штырьков соединителей от электростатических разрядов, на покрытии или на устройстве, находящемся рядом с соединителем, на котором используется покрытие, должна быть нанесена предупреждающая информация относительно электростатических разрядов.

Если ТС содержит точки и поверхности, на которые электростатические разряды не подают, то в сопроводительной документации должны быть предусмотрены специальные процедуры уменьшения влияния электростатических разрядов. Степень жесткости испытаний не должна превышать значения, указанного в технической документации с тем, чтобы избежать повреждения ТС.

Испытание должно проводиться подачей одиночных разрядов. На каждую выбранную точку должно быть подано *не менее 10* одиночных разрядов с полярностью, соответствующей наибольшей восприимчивости испытуемого ТС.

Испытательный генератор располагают перпендикулярно к поверхности, на которую подают разряд, что улучшает повторяемость результатов испытаний. Если невозможно расположить испытательный генератор перпендикулярно к поверхности при подаче разряда, условия испытания электростатическим разрядом должны быть отражены в протоколе испытаний.

Провод заземления испытательного генератора должен располагаться на расстоянии не менее 0,2 м от испытуемого ТС во время подачи разряда, причем оператор не должен держать провод заземления в руках.

При контактных разрядах следует сначала прикоснуться наконечником разрядного электрода к испытуемому оборудованию, а затем замкнуть разрядный ключ.

В случае, если проводящие поверхности испытуемого оборудования окрашены, необходимо выполнять следующие требования.

Если изготовитель оборудования не указывает, что покрытие предназначено для изоляции, необходимо проколоть покрытие наконечником испытательного генератора для осуществления контакта с проводящей поверхностью. Покрытие, указанное изготовителем как изолирующее, должно подвергаться испытанию только воздушными разрядами. Испытания контактными разрядами на таких поверхностях не проводят.

При воздушных разрядах испытательный генератор следует, по возможности, быстрым движением приблизить до прикосновения к испытуемому ТС (не вызывая механических повреждений поверхности). После каждого воздействия разрядом наконечник разрядного электрода испытательного генератора необходимо удалять от испытуемого ТС. Затем испытательный генератор настраивают для подготовки к следующему единичному разряду. Эту процедуру повторяют до завершения подачи всех разрядов. При испытаниях воздушным разрядом разрядный ключ, который используется для контактного разряда, должен быть замкнут.

4.3.3 Параметры испытания

На рисунке 4.5 представлен внешний вид экрана при проведении испытания «ESD».

| | | |
|-----------|---------------------|---------------------|
| ESD | [STANDART TEST 1] | L AC |
| VOLTAGE | : +8.0kV | V MEANS : _ _ _ _ |
| REP. RATE | : 1.0S | DISCHARGE : CONTACT |
| TRIGGER | : MANUAL | |
| TEST MODE | : COUNT | DURATION : 10 |
| RUN | OPEN | SAVE |
| | | QUIT |

Рисунок 4.5 – Экран испытания «ESD»

Слово ESD в верхнем углу указывает тип проводимого испытания. В середине первой строки – имя текущего файла теста (STANDART TEST 1).

В верхнем правом углу буква L или R указывает, как управляется оборудование – с передней панели или дистанционно, с помощью ПК. Текст DC или AC в этом же углу указывает, какое питание требуется для ТУ – постоянное или переменное. Текст DC также будет отображаться, если ИТС не подключено. Помимо этого, используются следующие обозначения:

VOLTAGE – напряжение всплеска;
REP. RATE – время, через которое будет повторяться разряд;
TRIGGER – тип запуска испытательных импульсов (авто / ручной);
TEST MODE – последовательность импульсов;
DISCHARGE – тип разряда (воздушный / контактный);
DURATION – определяет количество одиночных разрядов.

Цель работы – изучение назначения, принципа действия и области применения тестового оборудования Schaffner Best emc. Изучение требований и методов испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с назначением и принципом действия испытательного оборудования Schaffner Best emc.

2 Наблюдать за проведением испытания путевого приемника ТРЦ на устойчивость к электростатическим разрядам. Наблюдать за выполнением всех операций при проведении испытания:

- 1) определение испытательных точек;
- 2) подключение ИТС к независимому источнику питания;
- 3) выбирается режим ESD.

Пример параметров режима ESD для 4-й степени жесткости испытания при контактных разрядах:

VOLTAGE: 8 кВ.

REP. RATE: 1 с.

TRIGGER: Запуск при нажатии на кнопку (MANUAL).

TEST MODE: Подача одиночных разрядов (COUNT).

DISCHARGE: Контактный разряд (CONTACT).

DURATION: 10.

2.4 Запуск испытания нажатием кнопки RUN.

3 Наблюдать проведение испытаний при всех полярностях и для всех степеней жесткости.

4 По промежуточным данным проведенных испытаний заполнить рабочий протокол (пример заполнения приведен на рисунке 4.6).

5 Сделать выводы по полученным результатам.

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Краткие сведения из теории.
- 3 Заполненный протокол испытаний.
- 4 Ответы на контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

Рабочий протокол (на прот. № ЛР-4)

« 11 » 11 _____ 2023 _____ г.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЭСР

Изделие _____ Путевой приемник ТРЦ
 Заводской номер _____ 121 _____

Параметры среды:
 Температура окружающего воздуха: _____ 25 _____ °С,
 Атмосферное давление: _____ 100 _____ кПа,
 Относительная влажность воздуха: _____ 50 _____ %.
 (с точностью измерительного прибора)

Обозначение ТНПА на требования к объекту испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 (п. 4.2.2)

Обозначение ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 (п. 5.2.4), ГОСТ 30804.4.2-2013

Перечень используемых СИ и ИО: Испытательный комплекс на ЭМС BESTemc, цифровой осциллограф LeCroy WaveSurfer 10R, комбинированный прибор Testo 608-N1, барометр-анероид метеорологический, тип БАММ-1

Проверка работоспособности испытательного оборудования: _____

Испытательные точки: 1 – корпус спереди; 2 – корпус сзади; 3 – корпус сверху; 4 – корпус слева; 5 – корпус справа; 6 – ГПС; 7 – ВПС спереди; 8 – ВПС сзади; 9 – ВПС слева; 10 – ВПС справа; 11 – индикация; 12 – элемент управления; 13 – винт.

| Степень жесткости | Тип разряда | Точка | Полярность | Напряжение, кВ | Критерий качества функционирования | Примечание |
|-------------------|-------------|-------|------------|----------------|------------------------------------|------------|
| 3 | К | 1 | + | 6 | | |
| 3 | К | 1 | – | 6 | | |
| 3 | К | 2 | + | 6 | | |
| 3 | К | 2 | – | 6 | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | | |
| 1 | В | 11 | – | 2 | | |
| 2 | В | 11 | + | 4 | | |
| 2 | В | 11 | – | 4 | | |
| 3 | В | 11 | + | 8 | | |
| 3 | В | 11 | – | 8 | | |
| | | | | | | |

(пустые строки – перечеркнуть)

Студент _____
 (должность) _____ (подпись) _____ (фамилия, инициалы)

Рисунок 4.6 – Пример рабочего протокола

Контрольные вопросы

- 1 Что называется электромагнитной совместимостью?
- 2 Для чего нужно проводить испытания на помехозащищенность?
- 3 Какие испытания позволяет проводить аппаратура Schaffner Best emc?
- 4 Какие средства управления расположены на передней панели испытательного оборудования Schaffner Best emc?
- 5 Какие требования предъявляются к испытательному генератору?
- 6 Параметры импульса разрядного тока при контактном разряде.
- 7 Какие и в каком случае применяются разрядные наконечники?
- 8 Требование к проведению испытания в испытательной лаборатории.
- 9 В каких случаях электростатические разряды подаются на соединители?
- 10 Особенности воздушных разрядов.
- 11 Особенности контактных разрядов.

5 ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРОВАЛАМ, КРАТКОВРЕМЕННЫМ ПРЕРЫВАНИЯМ И ИЗМЕНЕНИЯМ НАПРЯЖЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ SCHAFFNER NSG 2050 (ГОСТ 30804.4.11)

Провалы и кратковременные прерывания напряжения возникают из-за неисправностей в электрических сетях, вызываемых прежде всего короткими замыканиями, неисправностей в электрических установках, а также из-за внезапного резкого изменения нагрузки. В определенных случаях могут возникнуть два и более последовательных провала или прерывания напряжения.

Изменения напряжения вызываются изменениями нагрузок в сети электропитания.

Эти явления случайны по своей природе и могут быть лишь кратко описаны в целях имитации в лаборатории отклонений от номинального напряжения электропитания и длительности этих отклонений.

ГОСТ 33436.4-1 определяет ГОСТ 30804.4.11 в качестве стандарта для испытаний на устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения ТС ЖАТ. ГОСТ 30804.4.11 устанавливает методы испытаний электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования (далее – ТС), подключаемых к низковольтным (напряжением не выше 1000 В) электрическим сетям переменного тока, на устойчивость к воздействию провалов, кратковременных прерываний и изменений напряжения электропитания, а также рекомендуемые уровни испытательных напряжений при проведении испытаний на помехоустойчивость (далее – уровни испытательных напряжений).

Установленные в ГОСТ 30804.4.11 испытания различного вида предназначены для имитации воздействия внезапных изменений напряжения электропитания на ТС.

Требования стандарта ГОСТ 30804.4.11 применяют для ТС с номинальным потребляемым током не более 16 А в одной фазе, подключаемых к электрическим сетям переменного тока частотой 50 Гц.

5.1 Общие сведения об испытательном оборудовании

«System 2050» – это универсальная, многофункциональная система для проведения испытаний на ЭМС, имеющая модульную конструкцию и настраиваемая в зависимости от различных типов испытаний (рисунок 5.1).

На передней панели системы расположены: 1 – кнопка «Power» («Питание»); 2 – «EMERGENCY OFF» («Аварийное включение»); 3 – Interlock reset

(сброс блокировки); 4 – выход вольтметра HIGH (верхний); 5 – выход вольтметра, LOW (нижний); 6 – выход LOW (нижний); 7 – выход HIGH (верхний); 8 – выход триггера; 9 – амперметр (I-monitor); 10 – кнопка «STOP» («СТОП»); 11 – Кнопка «RUN» («ПУСК»); 12 – кнопка «Ext. Trigger HV-ON» (Вкл. внешний триггер HV); 13 – клавиши функций; 14 – дисплей; 15 – кнопка «Enter» («Ввод»); 16 – колесо настройки; 17 – модульный отсек.

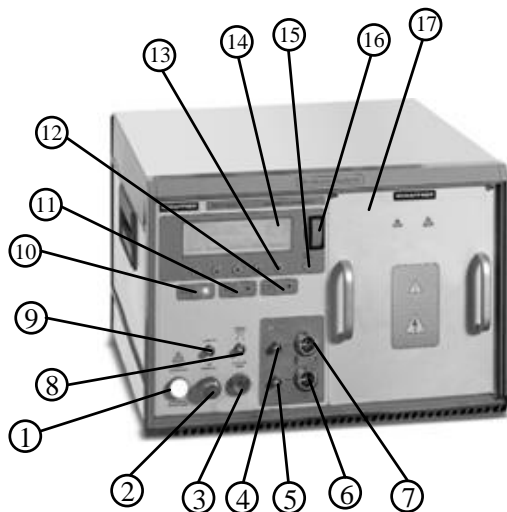


Рисунок 5.1 – Система Schaffner NSG 2050

Система позволяет проводить испытания на соответствие как основным межгосударственным и международным стандартам, так и более сложным вариациям испытаний (по требованиям заказчика) по электромагнитной совместимости.

Преимущество модульной конструкции заключается в том, что конфигурация системы может быть различной (рисунок 5.2) и зависит от степени аккредитации испытательной лаборатории. При этом система может быть дополнена новым оборудованием по мере развития и изменения потребностей испытательной лаборатории и, таким образом, обеспечивает защиту капиталовложений в будущем.

Центральным элементом системы является главный блок «NSG 2050», оснащенный микропроцессорным модулем управления, источником высокого напряжения и отсеком для сменных моделей, выбираемых пользователем. Все сменные модули системы поставляются в комплекте со встроенным программным обеспечением, что позволяет системе автоматически обнаруживать их при подключении и выдавать пользователю соответствующие обнаруженному оборудованию программные меню и опции передней панели.

«System 2050»

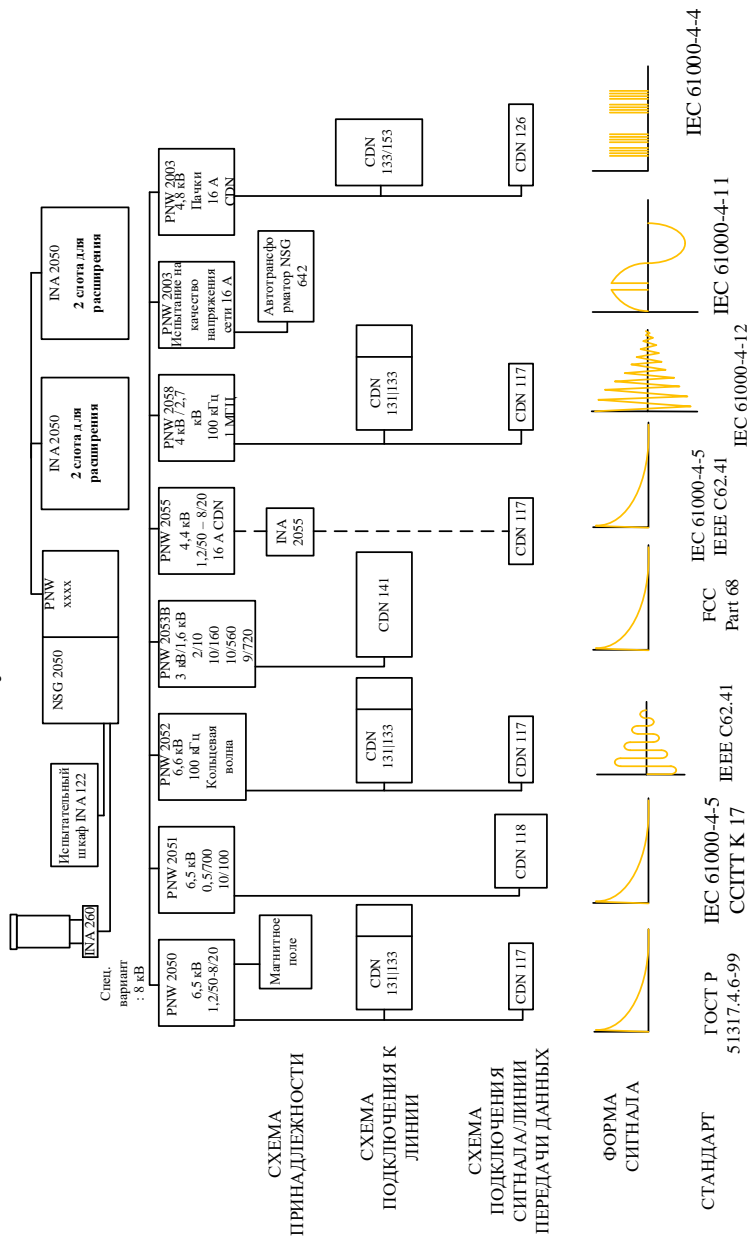


СХЕМА ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ЛИНИИ

СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИГНАЛА/ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ФОРМА СИГНАЛА

СТАНДАРТ

ГОСТ Р 51317.4.6-99
ССТП К 17

FCC Part 68
IEC 61000-4-5

IEC 61000-4-5
IEEE C62.41

IEC 61000-4-11

IEC 61000-4-12

IEC 61000-4-4

Рисунок 5.2 – Структурная схема «System 2050»

Функция интеллектуального управления реализуется либо с использованием элементов управления на передней панели и дисплея, либо с использованием ПК.

Кроме того, система сконструирована с расчетом на кроссплатформенность, которая обеспечивается за счет использования принципов открытой архитектуры и модульного управляющего ПО на базе Windows. Это позволяет без труда объединять данную систему с любым специализированным испытательным и измерительным оборудованием компании «Schaffner» или сторонних разработчиков.

В базовой комплектации оборудование Системы включает в себя главный блок (NSG 2050) и три подключаемых модуля (PNW 2055, PNW 2225 и PNW 2003) каждый из которых представляет собой автономное испытательное устройство:

- Модуль PNW 2055 представляет собой генератор микросекундных импульсных помех большой энергии и соответствует IEC 61000-4-5. Модуль способен создать гибридный импульс скачков напряжения длительностью от 1,2/50 мкс до 8/20 мкс и оснащен встроенной схемой связи для однофазного оборудования до 16 А;

- Модуль PNW 2225 представляет собой генератор пачек наносекундных импульсных помех, соответствующих требованиям стандарта IEC 61000-4-4. Модуль снабжен встроенной схемой связи на 16 А, управление которой осуществляется с помощью встроенного контроллера;

- Модуль PNW 2003 представляет собой генератор колебания напряжения, что позволяет имитировать различное качество напряжения питания. Все функции, необходимые для проведения испытаний на соответствие стандартам, запрограммированы в самом генераторе, использование для этих целей дополнительных устройств не требуется.

Для проведения испытаний на соответствие более жестким требованиям предусмотрен дополнительный набор сменных схем и внешних одно- и трехфазных модулей расширения для генерирования импульсов высокого тока и высоковольтных импульсов. Эти дополнительные схемы и модули можно использовать для создания систем с установленной пользователем конфигурацией, которые позволят проводить испытания на соответствие требованиям МЭК (IEC), Национального института стандартизации США (ANSI), Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE), Общества немецких электротехников (VDE) и европейских норм (CE).

Испытание должно проводиться с ИТС, подключенным к ИГ с помощью кабеля электропитания минимальной длины, установленной изготовителем ИТС. Если длина кабеля не установлена, применяют как, возможно, более короткий, подходящий для применения ИТС.

Испытательная установка для трех видов воздействий, приведенных в ГОСТ 30804.4.11, может выполнять три вида воздействий:

- 1) провалы напряжения электропитания;
- 2) кратковременные прерывания напряжения электропитания;
- 3) изменения напряжения электропитания от номинального до изменяемого напряжения (дополнительное испытание).

5.2 Уровни испытательных напряжений

Согласно п. 5 ГОСТ 30804.4.11 в качестве основы для определения уровней испытательных напряжений используется номинальное напряжение электропитания ТС U_T .

Для ТС с допустимым изменением номинального напряжения электропитания применяют следующие требования:

– если допустимое изменение напряжения электропитания не превышает 20 % нижнего значения напряжения, то любое значение напряжения в указанных пределах может быть принято в качестве основы для определения уровней испытательных напряжений U_T ;

– в остальных случаях испытания проводят для верхнего и нижнего допустимых значений напряжения электропитания.

Изменения напряжения между значением U_T и установленным пониженным значением испытательного напряжения должны быть резкими. Провал и кратковременное прерывание напряжения могут начинаться и заканчиваться при любой фазе напряжения электропитания.

Применяются следующие уровни испытательных напряжений, % U_T : 0, 40, 70 и 80.

5.3 Изменения напряжения электропитания

Испытания ТС на устойчивость к изменениям напряжения электропитания рассматривают в качестве дополнительных по отношению к испытаниям при воздействии провалов и кратковременных изменений напряжения. При испытаниях осуществляют изменения напряжения электропитания относительно номинального напряжения U_T .

Примечание – Изменение напряжения происходит за короткий промежуток времени и может возникнуть из-за изменения нагрузки в системах электроснабжения.

Предпочтительное время изменений напряжения и время, в течение которого пониженное напряжение должно быть выдержано при испытаниях, приведены в таблице 5.1. Скорость изменения должна быть постоянной, однако напряжение может быть ступенчатым. Ступени должны располагаться от нулевого пересечения и не должны превышать 10 % U_T . Ступени менее 1 % U_T рассматриваются как случай постоянной скорости изменения напряжения.

Пример провала напряжения приведен на рисунке 5.3.

Таблица 5.1 – Временные характеристики изменений напряжения электропитания

| | | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Класс электромагнитной обстановки | Уровни испытательных напряжений и длительности провалов напряжения электропитания | | | | |
| 1 | Устанавливают в каждом конкретном случае в соответствии с техническими документами на ТС | | | | |
| 2 | 0 % U_T в течение 0,5 периода | 0 % U_T в течение 1 периода | 70 % U_T в течение 25 периодов | | |
| 3 | 0 % U_T в течение 0,5 периода | 0 % U_T в течение 1 периода | 40 % U_T в течение 10 периодов | 70 % U_T в течение 25 периодов | 80 % U_T в течение 250 периодов |

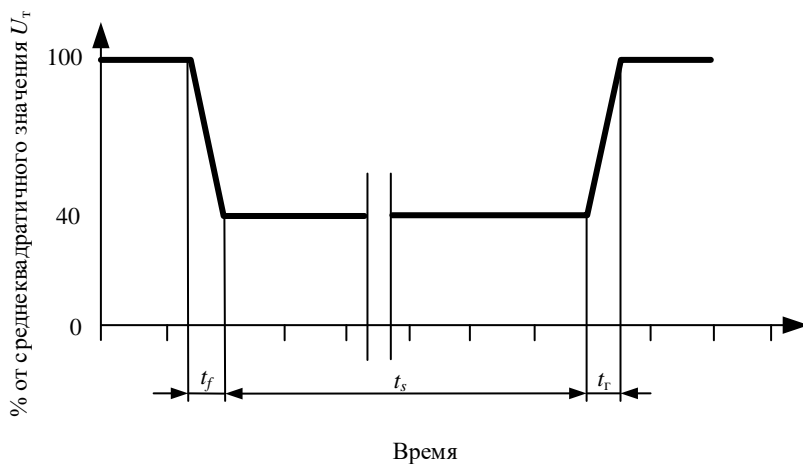


Рисунок 5.3 – Пример провала напряжения электропитания:

t_f – время понижения напряжения; t_s – время выдержки на пониженном напряжении;
 t_r – время нарастания напряжения

Но испытания железнодорожной аппаратуры проводятся согласно требованиям, приведенным в таблице 5.2, с использованием методов из ГОСТ 30804.4.11.

Таблица 5.2 – Устойчивость к провалам и кратковременным прерываниям напряжения электропитания

| Порт | Вид изменений напряжения электропитания | Класс электромагнитной обстановки | Испытательное напряжение / длительность провалов (прерываний напряжения, периоды), мс | Критерий качества функционирования |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| Порты электропитания переменного тока | Провалы напряжения | 3 | 0 / 1(20) | A |
| | | – | 70 / 50(1000) | A, B или C |
| | Прерывания напряжения | – | 0 / 10(200) | A, B или C |
| | | – | 0 / 65(1300) | B или C |

Цель работы – изучение назначения, принципа действия и области применения универсальной, многофункциональной системы для проведения испытаний на ЭМС Schaffner NSG 2050.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с назначением и принципом действия испытательного оборудования NSG 2050.

2 Установить блок PNW 2003. Включить на приборе сзади кнопку включения.

3 Повернуть кнопку 2.

4 Нажать кнопку 3 (отключить блокировку блока, лампочка погаснет).

5 Нажать кнопку 1 (включить в основной блок, загорится экран).

6 Подключить ИТС через линию связи (линию подключать через верхний разъем на сменном блоке – PNW 2003).

7 Настроить режим.

Пример:

– нижняя строка – PULSE – выбрать блок PNW 2003 (intern);

– нажать ENTER (кнопка);

– нажать RETURN (та же кнопка);

– нажать кнопку под снизу – LEVEL – выбрать user – ENTER;

– снизу – Euf. P – ON – подача питания на ИТС;

– снизу – Options: Num of events – 3; phase – asynch; Tevent – 1300 мс; Repeat – 10000 мс; Variation – 0 %.

8 Запустить испытания нажатием кнопки RUN.

9 Наблюдать проведение испытаний.

10 По промежуточным данным проведенных испытаний заполнить рабочий протокол (рисунок 5.4).

11 Сделать выводы по полученным результатам.

Рабочий протокол (на прот. № ЛР-5)

« 11 » 11 20 г.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПО ОТНОШЕНИЮ К ДИН

Изделие _____ Путьевой приемник ТРЦ _____

Заводской номер _____ 111 _____

Параметры среды:

Температура окружающего воздуха: _____ 25 _____ °С,

Атмосферное давление: _____ 100 _____ кПа,

Относительная влажность воздуха: _____ 50 _____ %.

(с точностью измерительного прибора)

Напряжение электропитания: 220 В.

Обозначение ТНПА на требования к объекту испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 п. 4.2.2)

Обозначение ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 (п. 5.2.4), ГОСТ 30804.4.11-2013

Перечень используемых СИ и ИО: Комплексная система для генерации импульсов помех NSG 2050, генератор провалов и прерываний напряжения питания PNW 2003, цифровой осциллограф LeCroy WaveSurfer 10R, комбинированный прибор Testo 608-H1, барометр-анероид метеорологический, тип БАММ-1

Проверка работоспособности испытательного оборудования: _____

| Вид ДИН | Сдвиг фазы, град | Напряжение, % | Длительность ДИН, мс | Критерий качества функционирования | Примечание |
|------------|------------------|---------------|----------------------|------------------------------------|------------|
| Провал | 0 | 0 | 20 | | |
| Провал | 0 | 70 | 1000 | | |
| Прерывание | 0 | 0 | 200 | | |
| Прерывание | 0 | 0 | 1300 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

(пустые строки – перечеркнуть)

_____ (должность)

_____ (подпись)

_____ (фамилия, инициалы)

Рисунок 5.4 – Пример рабочего протокола

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Краткие сведения из теории.
- 3 Заполненный протокол испытаний.
- 4 Ответы на контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Из-за чего возникают провалы и кратковременные прерывания напряжения?
- 2 Какие испытания позволяет проводить аппаратура NSG 2050?
- 3 Какие требования предъявляются к испытательной установке?
- 4 Без какого блока работа схемы не произойдет?
- 5 Из чего состоит система NSG 2050?
- 6 Какие органы управления расположены на передней панели NSG 2050?

6 ИЗМЕРЕНИЕ ИЗЛУЧАЕМЫХ ПОМЕХ ТЕСТОВЫМ ПРИЕМНИКОМ R&S®ESR3

ГОСТ 33436.4-1 определяет ГОСТ 30804.6.4 в качестве стандарта для определения соответствия нормам создаваемых электромагнитных помех ТС ЖАТ.

ГОСТ 30804.6.4 устанавливает требования по обеспечению электромагнитной совместимости в части создаваемых электромагнитных помех к электротехническим, электронным и радиоэлектронным изделиям и аппаратуре, предназначенным для применения в промышленных зонах, а также методы их испытаний. Область применения стандарта охватывает полосу частот от 0 до 400 ГГц.

Требования ГОСТ 30804.6.4 распространяются на ТС, предназначенные для подключения к электрическим сетям, которые получают питание от силовых трансформаторов высокого и среднего напряжения, обеспечивающих электроснабжение установок, питающих электрической энергией промышленное оборудование и оборудование аналогичного назначения, а также на ТС, устанавливаемые в промышленных зонах или в непосредственной близости к ним.

6.1 Общие сведения об испытательном оборудовании

Измерительный приемник R&S®ESR3 позволяет измерять уровни кондуктивных и излучаемых ЭМП в диапазоне частот от 9 кГц до 3,6 ГГц. С помощью сканирования во временной области на основе БПФ прибор измеряет электромагнитные помехи с очень высокой скоростью. В то же время R&S®ESR3 служит полнофункциональным эффективным анализатором сигналов и спектра для лабораторных задач, позволяющим проводить анализ спектра в режиме реального времени и оснащенным широким набором диагностических инструментов. Этот измерительный приемник также обеспечивает подробное изучение сигналов помехи и их истории. R&S®ESR3 оснащен четко структурированным, интуитивно понятным интерфейсом с сенсорным экраном и очень прост в использовании.

На передней панели системы (рисунок 6.1, а) расположены: 1 – кнопки «Изменить режим», «Настройки», «Настройки по умолчанию», «Справка»; 2 – USB-разъемы для внешних устройств, например, клавиатуры, мыши; 3 – переключатель ВКЛ/ВЫКЛ; 4 – сенсорный экран; область отображения результатов измерения; 5 – вспомогательные клавиши для отображения

меню «Пуск» Windows или экранной клавиатуры; 6 – кнопка параметров отображения экрана; 7 – кнопка параметров навигации для экранного меню; 8 – кнопки настройки контроля измерений, например, частота, уровни; 9 – кнопки функции маркера; 10 – кнопки конфигурация измерения; 11 – кнопка начала измерений; 12 – цифровая клавиатура, устройства и клавиши ввода данных; 13 – поворотная ручка; 14 – клавиши со стрелками; 15 – функции отмены; 16 – выход автофокуса с регулятором громкости; 17 – разъем управления источником шума; 18 – разъем для подключения источника напряжения питания для измерительных приборов; 19 – разъем питания; 20 – выход генератора отслеживания; 21 – ВЧ вход 2; 22 – ВЧ вход 1.

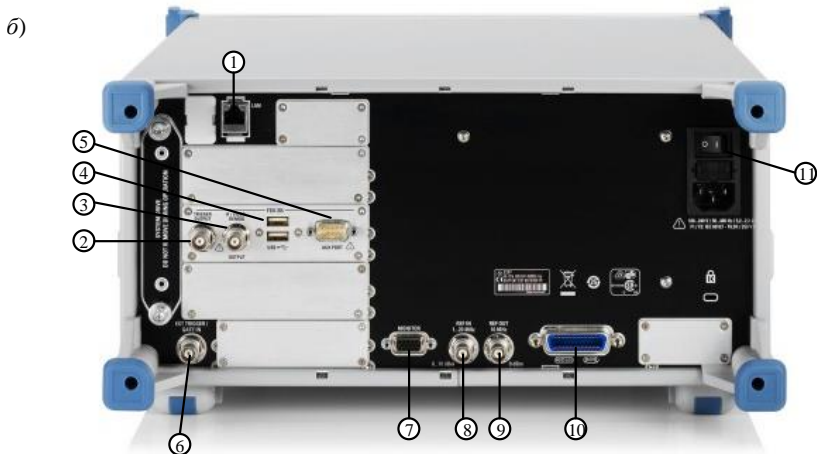


Рисунок 6.1 – Измерительный приемник R&S®ESR3:
а – передняя панель; б – задняя панель

На задней панели системы (см. рисунок 6.1, б) расположены: 1 – разъем для подключения локальной сети; 2 – выход триггера; 3 – выход IF/VIDEO; 4 – разъем USB; 5 – вспомогательный порт; 6 – выход EXT TRIGGER/GATE IN; 7 – разъем для подключения монитора; 8 – выход REF IN; 9 – выход REF OUT; 10 – внешний интерфейс; 11 – разъем для подключения источника питания переменного тока и главный выключатель питания с предохранителем.

Виды промышленных радиопомех

В зависимости от ширины полосы пропускания измерительного приемника, спектральной плотности распределения промышленных радиопомех (ИРП), длительности и частоты их появления, а также от степени их раздражающего воздействия на органы слуха и зрения человека принято различать следующие виды ИРП:

а) узкополосные непрерывные ИРП – помехи на отдельных частотах, например на основной частоте и на гармониках, генерируемых промышленными, научными, медицинскими и бытовыми (ПНМБ) высокочастотными устройствами, которые формируют частотный спектр, состоящий из отдельных спектральных линий с разнесением, больше чем ширина полосы пропускания измерительного приемника, так что при измерении в полосу пропускания попадает только одна спектральная линия (в отличие от «б»);

б) широкополосные непрерывные ИРП – помехи, которые обычно непреднамеренно возникают при повторяющихся импульсах, например от коллекторных двигателей, с такой частотой повторения, что во время измерения в полосу пропускания измерительного приемника попадает более чем одна спектральная линия;

в) широкополосные прерывистые ИРП – помехи, которые генерируются непреднамеренно при механической или электронной коммутации, например термостатами или блоками программного управления с частотой повторения ниже 1 Гц (число импульсов в одну минуту – менее 30).

6.2 Проведение испытаний

При испытаниях на соответствие нормам помех выбирают режим функционирования испытуемого ТС из предусмотренных в технической документации на ТС, характеризующийся наибольшим уровнем помех в полосе частот измерений. Для определения такого режима функционирования испытуемого ТС проводят предварительные испытания. Должна быть выбрана конфигурация ТС, при которой уровень помех является наибольшим при соответствии типичным условиям установки и применения ТС.

Испытуемое ТС, которое является частью системы или подключаемое к вспомогательному оборудованию, испытывают при минимальной конфигурации подключенного вспомогательного оборудования, необходимой для проведения измерений применительно к портам ТС с учетом рекомендаций ГОСТ 30805.22.

Если в технической документации на ТС конкретного вида указана необходимость использования внешних устройств фильтрации и / или экранирования или проведения пользователем дополнительных мероприятий по ограничению помех, измерения, установленные в настоящем стандарте, проводят с применением внешних устройств фильтрации и / или экранирования и при осуществлении мероприятий, проводимых пользователем. Режимы функционирования и конфигурация ТС при проведении измерений должны быть указаны в протоколе испытаний.

Если ТС оборудовано большим числом идентичных портов или портами со значительным числом идентичных соединений, для испытаний выбирают достаточное число указанных портов (соединений), чтобы воспроизвести действительные условия функционирования ТС, обеспечить проверку соединений всех видов и учесть все типы оконечных нагрузок.

Если уровень посторонних радиопомех превышает значение нормы ИРП от испытываемого ТС, то факт превышения должен быть зафиксирован в отчете об испытаниях.

На измерительной площадке должно обеспечиваться регламентированное соотношение между уровнем ИРП от испытываемого ТС и уровнем посторонних радиопомех.

Рекомендуется, чтобы уровень посторонних радиопомех составлял не более 20 дБ (1 мкВ) и был по крайней мере на 6 дБ ниже уровня измеряемого сигнала. При соблюдении этого условия регистрируемый уровень ИРП от испытываемого ТС может увеличиться по сравнению с истинным значением не более чем на 3,5 дБ.

При измерении на соответствие нормам допускается, чтобы уровень посторонних радиопомех превышал рекомендуемое требование «минус 6 дБ», при условии, что суммарный уровень посторонних радиопомех и ИРП от испытываемого ТС не превышает нормы. В этом случае испытываемое ТС считают соответствующим норме.

Для узкополосных сигналов можно также уменьшить ширину полосы пропускания измерительного приемника.

При измерении узкополосных непрерывных радиопомех измерительная система должна настраиваться на исследуемую частоту и иметь возможность подстройки в случае флуктуации исследуемой частоты.

При измерении широкополосных непрерывных радиопомех, уровень которых нестабилен, должны быть найдены их максимальные значения.

Испытуемое ТС должно работать в условиях, имитирующих реальные ситуации, при которых возникают максимальные помехи на частоте измерения.

Значения параметров испытаний представлены в таблицах 6.1 и 6.2.

Испытания на соответствие нормам настоящего стандарта проводят при климатических условиях, установленных в технической документации на ТС конкретного вида, и при номинальном напряжении электропитания ТС, если иное не установлено в стандартах на методы измерений параметров помех.

Таблица 6.1 – Электромагнитная эмиссия от источника помехи

| Порт | Полоса частот, МГц | Норма | Основопологающий стандарт | Примечание |
|---|--------------------|--|---|--|
| Порт корпуса | 30–230 | 40 дБ (1 мкВ/м) (квазипииковое значение при расстоянии 10 м) | ГОСТ 30805.16.2.3 | Испытания проводятся на открытой измерительной площадке или в полубезэховой камере. Допускается проводить измерения при расстоянии 30 м. При этом применяются нормы помех, уменьшенную на 10 дБ |
| | 230–1000 | 47 дБ (1 мкВ/м) (квазипииковое значение при расстоянии 10 м) | | |
| Порт электропитания переменного тока низкого напряжения | 0,15–0,5 | 79 дБ (1 мкВ) (квазипииковое значение) 66 дБ (1 мкВ) (среднее значение) | ГОСТ 30605 10.2.1, Пункт 7.4.1; ГОСТ 30805.16.1.2, Подраздел 4.3 | – |
| | 0,5–30 | 73 дБ (1 мкВ) (квазипииковое значение) 60 дБ (1 мкВ) (среднее значение) | | |
| Порт связи | 0,15–0,5 | 97–87 дБ (1 мкВ) (квазипииковое значение) 84–74 (1 мкВ) (среднее значение) 53–43 дБ (1 мкА) (квазипииковое значение) 40–30 (1 мкА) (среднее значение) | ГОСТ 30805.22 | – |
| | 0,5–30 | 87 дБ (1 мкВ) (квазипииковое значение) 74 дБ (1 мкВ) (среднее значение) 43 дБ (1 мкА) (квазипииковое значение) 30 дБ (1 мкА) (среднее значение) | | |

Таблица 6.2 – Минимальное время сканирования с пиковым и квазипиковым детекторами для трех полос частот CISPR

| Полоса частот | Минимальное время сканирования T_b | |
|---------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | при пиковом детектировании | при квазипиковом детектировании |
| 9–150 кГц | 14,1 с | 2820 с = 47 мин |
| 0,15–30 МГц | 2,985 с | 5970 с = 99,5 мин = 1 ч 39 мин |
| 30–1000 МГц | 0,97 с | 19400 с = 323,3 мин = 5 ч 23 мин |

Измерительная площадка должна позволять отличать ИРП, создаваемые испытательным оборудованием, от посторонних помех. Пригодность площадки определяют измерением уровня посторонних помех при неработающем ИО, при этом уровень посторонних помех должен быть по крайней мере на 6 дБ ниже норм.

6.3 Применимость норм помех

Применимость норм помех зависит от конфигурации, наличия и видов портов, конструкции и режимов функционирования ТС конкретного вида.

Измерения для последующей оценки соответствия ТС нормам проводят применительно к различным портам в соответствии с таблицей 6.2. Измерения выполняют только при наличии соответствующих портов.

По результатам анализа электрических характеристик и способов применения ТС конкретного вида может быть принято решение не проводить конкретные испытания на соответствие нормам. Это решение должно быть отражено в протоколе испытаний.

Цель работы – изучение назначения, принципа действия и области применения универсальной многофункциональной системы для проведения испытаний на ЭМС от технических средств измерительным приемником R&S®ESR3.

Порядок выполнения работы

Измерение напряженности поля излучаемых радиопомех необходимо производить в диапазоне частот от 230 МГц до 1 ГГц. Измерение проводится тестовым приемником электромагнитных помех R&S®ESR3 с измерительной антенной R&S®HL223 (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2 – Антенна R&S@HL223

Расстояние между измерительной антенной и испытуемым образцом – 3 метра. Нормированное значение пересчитано для измерительного расстояния 3 м (увеличено на 10 дБ).

При проведении измерений первоначально выполнить сканирование всего частотного диапазона. Измерения выполнять детектором пиковых значений при горизонтальной и вертикальной поляризации антенны.

Ориентация испытуемого образца – от 0 до 360°.

Поляризация антенны – вертикальная, горизонтальная.

Режим работы испытуемого образца должен соответствовать режиму, в котором создается максимальный уровень радиопомех.

Заполнить рабочий протокол (рисунок 6.3).

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Краткие сведения из теории.
- 3 Заполненный протокол испытаний.
- 4 Ответы на контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 От чего зависит применимость норм помех?
- 2 Для чего предназначен измерительный приемник R&S@ESR3?
- 3 Для чего используются внешние устройства фильтрации и / или экранирования или проведение пользователем дополнительных мероприятий?
- 4 Какие требования предъявляются к максимальной частоте измерений?
- 5 Какие требования предъявляются к размещению испытательного оборудования?
- 6 Из чего состоит измерительный приемник R&S@ESR3?
- 7 Опишите альтернативные размещения оборудования.

Рабочий протокол (на прот. № ЛР-6)

« 11 » 11 2023 г.

ПОМЕХОЭМИССИЯ

Изделие _____ Путевой приемник ТРЦ

Заводской номер _____ 131

Параметры среды:

Температура окружающего воздуха: _____ 25 _____ °С,

Атмосферное давление: _____ 100 _____ кПа,

Относительная влажность воздуха: _____ 50 _____ %.

(с точностью измерительного прибора)

Обозначение ТНПА на требования к объекту испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 (п. 4.3.1)

Обозначение ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 33436.4-1-2015 (п. 5.2.4), ГОСТ 30804.6.4-2013

Перечень используемых СИ и ИО: R&S®ESR3, комбинированный прибор Testo 608-H1, барометр-анероид метеорологический, тип БАММ-1

Проверка работоспособности испытательного оборудования: _____

Испытательные точки: 1 – порт корпуса; 2 – порт электропитания; 3 – Порт с вязи;

1. Порт корпуса: 200 – 1000 МГц.

Рисунок 1 – График измеренных значений уровней напряженности поля радиопомех (фон), поляризация антенны – горизонтальная

Таблица 1 – Максимальные уровни напряженности поля радиопомех (фон), поляризация антенны – горизонтальная

| Частота, МГц | Высота подъема антенным, м | Угол поворота поворотного стола, град | Квазипиковое значение напряженности поля радиопомех, дБ(мкВ/м) | |
|--------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------|
| | | | измеренное | нормированное |
| 205 | 1,5 | 45° | 13,3 | 50,0 |
| 415 | 1,5 | 45° | 44,5 | 50,0 |
| 535 | 1,5 | 45° | 38,2 | 57,0 |
| 610 | 1,5 | 45° | 44,7 | 57,0 |
| 715 | 1,5 | 45° | 40,5 | 57,0 |
| 760 | 1,5 | 45° | 25,3 | 57,0 |
| 930 | 1,5 | 0° | 78,5 | 57,0 |
| 960 | 1,5 | 0° | 58,2 | 57,0 |

_____ (должность) _____ (подпись) _____ (фамилия, инициалы)

Рисунок 6.3 – Пример рабочего протокола

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Закарюкин, В. П.** Электромагнитная совместимость и средства защиты : учеб. пособие / В. П. Закарюкин, М. Л. Дмитриева, А. В. Крюков ; под ред. В. П. Закарюкина. – М.–Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 247 с.

2 **Седельников, Ю. Е.** Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств : учеб. пособие для вузов / Ю. Е. Седельников, Д. А. Веденькин ; под ред. Ю. Е. Седельникова. – М. : Юрайт, 2023. – 318 с.

3 **Хабигер, Э.** Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике / Э. Хабигер ; пер. с нем. канд. техн. наук И. П. Кужекина ; под ред. Б. К. Максимова. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.

4 **Шваб, А.** Электромагнитная совместимость / А. Шваб ; пер. с нем. В. Д. Мазина и С. А. Спектора ; под ред. И. П. Кужекина. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 480 с.

5 **ГОСТ 33436.4-1.** Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Ч. 4-1. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний. – Введ. 2015-09-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 14 с.

6 **ГОСТ 30804.4.2.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний. – Введ. 2013-07-22. – М. : Стандартинформ, 2014. – 46 с.

7 **ГОСТ 30804.4.4.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 22 с.

8 **ГОСТ 30804.4.11.** Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 21 с.

9 **ГОСТ 30804.6.4.** Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний. – Введ. 2013-07-22. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

10 **ГОСТ 61000-4-5.** Электромагнитная совместимость. Ч. 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения. – Введ. 2017-12-14. – М. : Стандартинформ, 2020. – 60 с.

11 **ГОСТ 61000-4-8.** Электромагнитная совместимость. Ч. 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. – Введ. 2021-08-31. – М. : Стандартинформ, 2021. – 26 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Введение | 3 |
| 1 Сетевые помехоподавляющие фильтры | 4 |
| 1.1 Назначение сетевых помехоподавляющих фильтров..... | 4 |
| 1.2 Виды напряжений помех | 4 |
| 1.3 Принципы построения сетевых фильтров..... | 5 |
| 1.4 Конструктивные элементы для построения сетевых помехоподавляющих фильтров..... | 7 |
| 1.5 Конструкции сетевых помехоподавляющих фильтров | 9 |
| 1.6 Измерение коэффициентов затухания сетевых фильтров | 12 |
| Контрольные вопросы | 14 |
| 2 Основные стандарты серии ГОСТ 30804 | 15 |
| 2.1 Область распространения и цель | 15 |
| 2.2 Основные положения | 16 |
| 2.3 Условия эксплуатации | 17 |
| 2.4 Выбор видов испытаний | 18 |
| 2.5 Выбор степеней жесткости испытаний | 19 |
| 2.6 Оценка результатов испытаний..... | 19 |
| 2.7 Условия проведения испытаний | 19 |
| 2.8 Краткое описание испытаний..... | 20 |
| Контрольные вопросы | 32 |
| 3 Изучение элементов и схем грозозащиты | 33 |
| Контрольные вопросы | 49 |
| 4 Испытание на устойчивость к электростатическим разрядам комплексом Schaffner BEST емс (ГОСТ 30804.4.2) | 50 |
| 4.1 Общие сведения об испытательном оборудовании..... | 50 |
| 4.2 Технические характеристики и качество функционирования испытательного генератора | 52 |
| 4.3 Проведение испытаний..... | 54 |
| Контрольные вопросы | 61 |
| 5 Испытания на устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения комплексом Schaffner NSG 2050 (ГОСТ 30804.4.11) | 62 |
| 5.1 Общие сведения об испытательном оборудовании..... | 62 |
| 5.2 Уровни испытательных напряжений | 66 |
| 5.3 Изменения напряжения электропитания | 66 |
| Контрольные вопросы | 70 |
| 6 Измерение излучаемых помех тестовым приемником R&S®ESR3 | 71 |
| 6.1 Общие сведения об испытательном оборудовании..... | 71 |
| 6.2 Проведение испытаний..... | 73 |
| 6.3 Применимость норм помех | 76 |
| Список литературы | 79 |

Учебное издание

БОЧКОВ Константин Афанасьевич
МЕДВЕДЕВ Денис Дмитриевич
ЖИГАЛИН Игорь Олегович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Пособие по учебной дисциплине
«Электромагнитная совместимость»

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 29.11.2024 г. Формат 60х84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4.65. Уч.-изд. л. 4.51. Тираж 120 экз.
Зак № 2252. Изд. № 20

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014
№ 2/104 от 01.04.2014
№ 3/1583 от 14.11.2017
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель