
Данное руководство предназначено для проектировщиков, инженеров и техников, работающих с промышленными установками, в составе которых имеются электронные управляющие устройства, использующие каналы связи.

В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ СИЛОВЫЕ СЕТИ ЧАСТО ОКАЗЫВАЮТСЯ ВБЛИЗИ СЛАБОТОЧНЫХ, ЧТО МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ПРОБЛЕМЫ.

Вследствие все более широкого применения электроники в промышленных условиях, а также упомянутых ниже причин, **оставлять эти проблемы без внимания более невозможно.**

- Отдельные единицы оборудования, соответствующие промышленным стандартам электромагнитной совместимости, нормально функционируют в автономном режиме.
- Однако, если подобные единицы оборудования соединены между собой в сетях, распределенных системах управления или подключены к удаленным входам/выходам, следует принять ряд мер предосторожности.

В данном руководстве представлены основные правила, которые необходимо соблюдать при электромонтаже промышленных установок, в составе которых имеются электронные управляющие устройства, использующие каналы связи.

Первый раздел посвящен **безопасности** персонала и оборудования.

В следующих двух разделах приводится подробное описание мер предосторожности, которые необходимо принять для **эффективной** защиты от воздействия электрических помех.

Решение, которое заключается в минимизации **чувствительности** каналов связи к **электромагнитным помехам**, основано на трех принципах:

- Применении **эффекта ослабления** (Раздел 2),
- Применении **эффекта разделения** (Раздел 2),
- Применении **электромагнитного экранирования** оборудования (Раздел 3).

Во всех прочих отношениях следует руководствоваться специальными инструкциями по монтажу для каждой позиции оборудования, в особенности в том, что касается методов подключения, требуемых для экранов и разъемов.



Раздел	Стр.
1 Безопасность	3
1.1 Основные правила	3
1.2 Заземление	4
1.3 Каналы передачи данных между зданиями	5
1.4 Схемы нейтрали	7
1.4-1 Схема ТТ	8
1.4-2 Схема IT	9
1.4-3 Схема TN	10
2 Кабелепроводы	13
2.1 Общие указания	13
2.2 Эффект ослабления	14
2.2-1 Правильные методы работы	14
2.2-2 Принцип действия	14
2.2-3 Методы прокладки	15
2.3 Эффект разделения	16
2.3-1 Правильные методы работы	16
2.3-2 Принцип действия	16
2.3-3 Методы прокладки	17
2.4 Особые случаи	21
3 Электромагнитное экранирование	25
3.1 Общие указания	25
3.2 Принцип действия	25
3.3 Создание экрана	27
4 Выводы	29
5 Приложение	31
5.1 Опасности, связанные с электрическим током	31
5.2 Замечания по низковольтным системам питания	32
5.3 Список литературы	32

1.1 Основные правила

Данный раздел напоминает о некоторых основных правилах (стандарт NFC 15 000), касающихся **безопасности персонала и оборудования**.

Соблюдение этих правил является обязательным на любых промышленных установках и не ограничивается установками, оснащенными электронными управляющими устройствами.



Удар тока силой несколько миллиампер может оказаться смертельным!

Хотя такая сила электрического тока может показаться смехотворно малой, существует реальная опасность (см. Раздел 5.1).

Соблюдение стандартов безопасности персонала является **обязательным**.

Помимо прочего, эти стандарты определяют два следующих пункта:

- Заземление оборудования и соответствующих каналов связи,
- Соответствие используемой схемы нейтрали.

1.2 Заземление

Необходимо различать следующие два неидентичных понятия:

- **Понятие заземления на массу (на шасси)**

Это низкоомная цепь между единицами оборудования, обеспечивающая уравнивание потенциалов (повышение помехоустойчивости). Это «заземление» предназначено для снижения случайного напряжения (напряжения помех), которое может возникать между различными единицами оборудования в весьма широком диапазоне частот. Данное заземление выполняется в соответствии с **эксплуатационными требованиями**.

- **Понятие защитного заземления на землю**

Это низкочастотная низкоомная цепь между заземлением на массу и заземлением на землю. Она используется в случае неисправности между электрической схемой и заземлением на массу. Данное заземление выполняется в соответствии с **требованиями по защите**.

Хотя два этих понятия различны, они относятся к одним и тем же цепям.

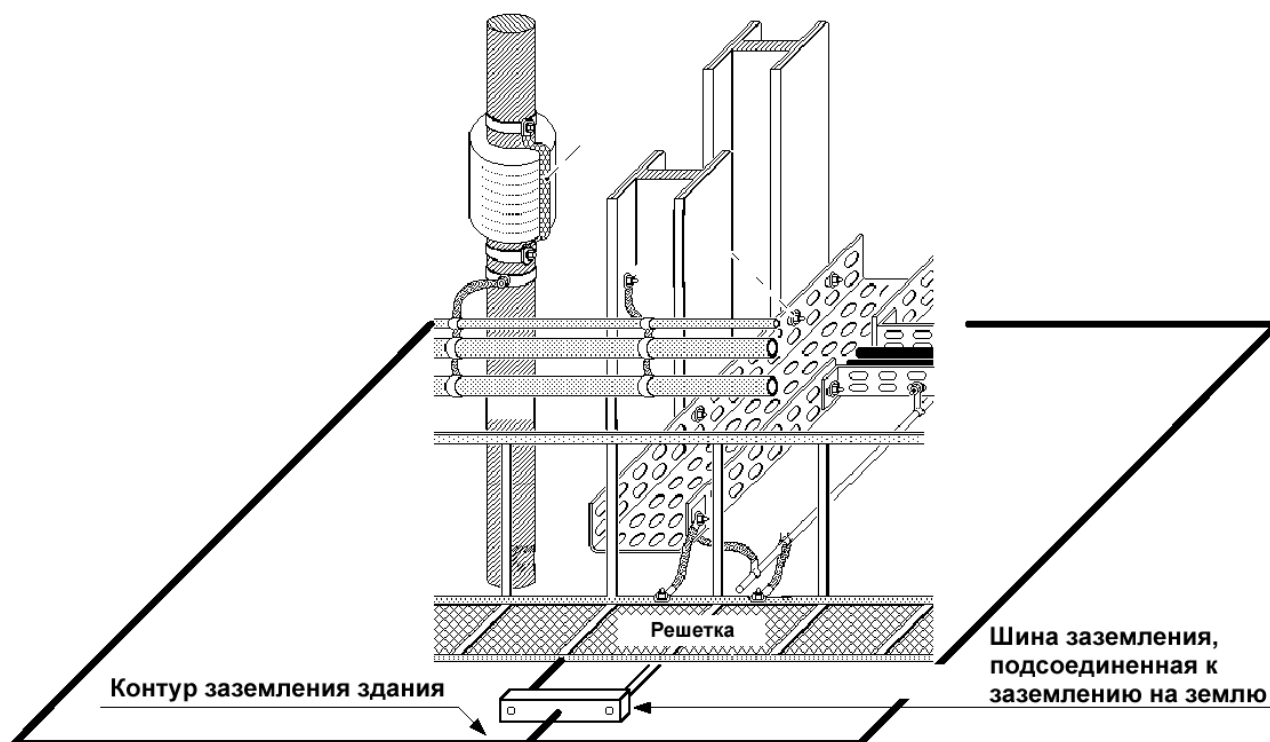
Все контуры заземления должны подсоединяться к заземлению на землю.

Контур заземления

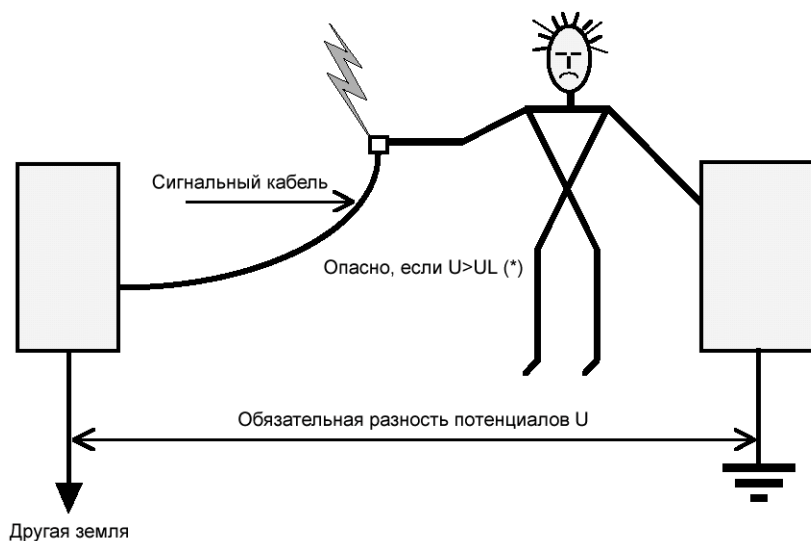
Это – контур, который образуют все соединенные между собой металлические элементы (металлоконструкции здания, трубы, кабелепроводы, электрическое и электронное оборудование и его корпуса).

Заземление на землю

Это – подсоединение к базовому заземлению, представляющее собой вкопанный в землю стержень, заземляющую сетку или заземляющую ленту здания, к которым подсоединяются контуры заземления. В здании допускается наличие не более **одного** заземления на землю.



Одновременное прикосновение к двум несоединенным между собой заземлениям может стать причиной электрического удара со смертельным исходом.



* U_L = Стандартные предельные значения напряжения: 25 В эфф. (переменный ток)
60 В (постоянный ток)
(стандарт IEC 364.4.41)

1.3 Каналы передачи данных между зданиями

В случае, если электронная система управления располагается в двух и более зданиях, существует опасность наличия нескольких заземлений на землю. Возможны три варианта:

- **Заземления на землю соединены между собой:** правильный вариант.
- **Заземления на землю не соединены между собой:** соедините их (это соединение в большей степени обусловлено требованиями безопасности, чем эксплуатационными требованиями).
- **Наличие межсоединения неочевидно:** выполните это межсоединение!

Для выполнения межсоединения **используйте проводники, предназначенные для данной цели.**

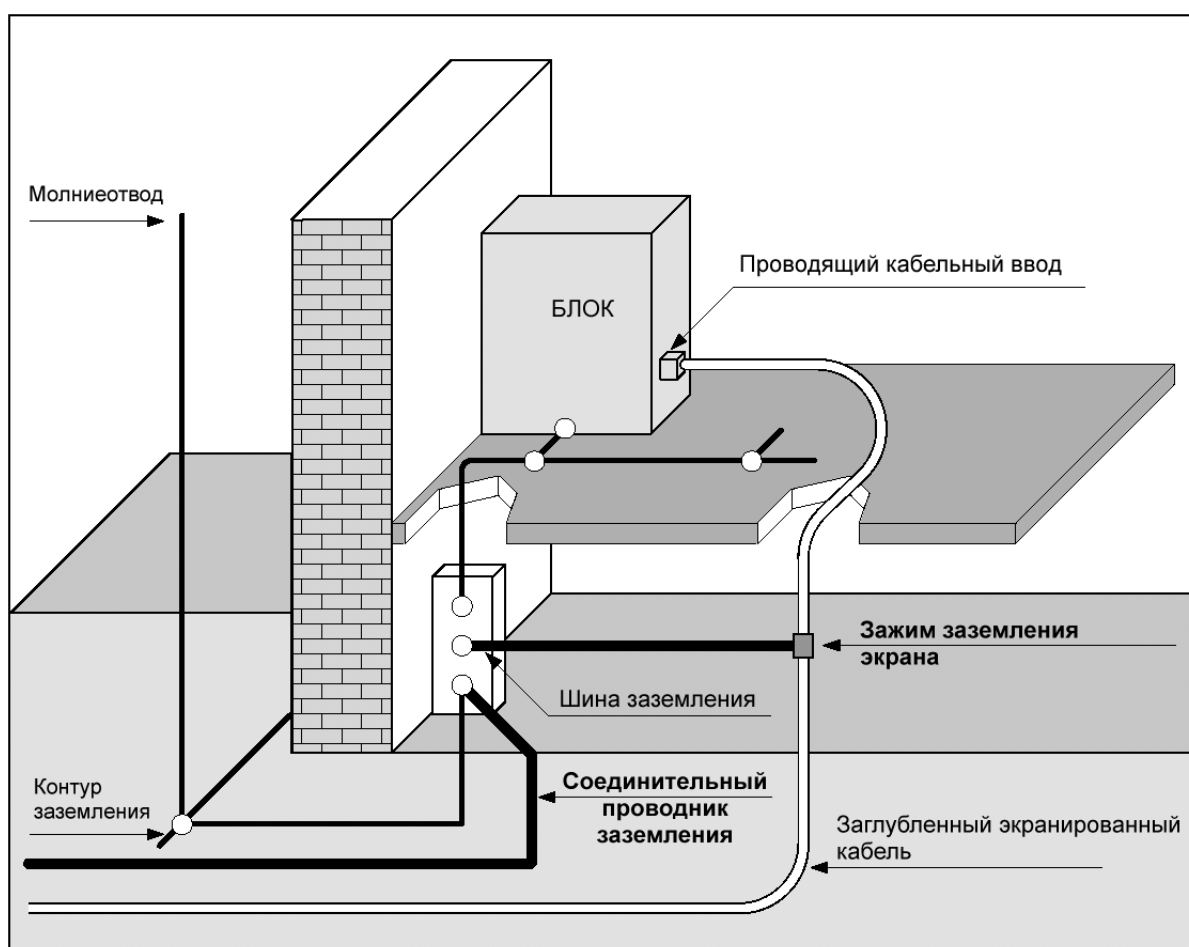
Токи, циркулирующие между двумя заземлениями на землю, могут быть весьма значительными:

- Не допускается межсоединение экраном экранированного кабеля.
- Обязательно используйте кабель сечением не менее 35 мм².

Все токопроводящие коммуникации (соединительные кабели, соединительные трубопроводы или изолированные трубопроводы для перекачки токопроводящей жидкости), вводимые в здание, должны подсоединяться к заземлению на землю в точке ввода с минимальной длиной соединения.

Необходимо учитывать функциональные характеристики кабеля, указанные изготовителем:

- Характеристики, относящиеся к физико-химическим особенностям кабеля:
 - Атмосфера и окружающая среда,
 - Применение в зданиях и вне помещений,
 - Необходимость использования защиты при прокладке под землей.
- Характеристики, касающиеся физических особенностей кабеля:
 - Радиус изгиба,
 - Наличие несущего троса.



1.4 Схемы нейтрали

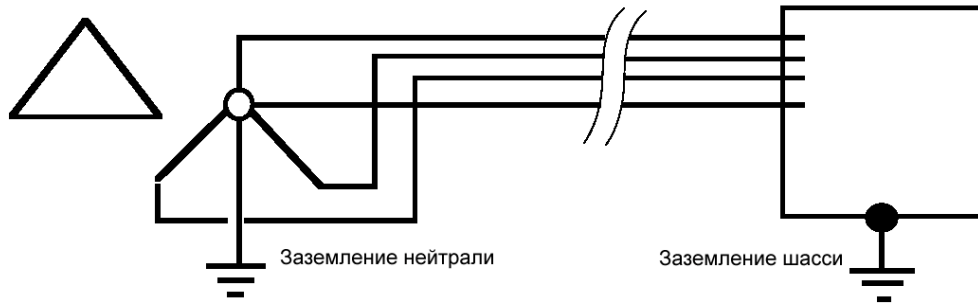
Выбор схемы нейтрали для каждого потребителя, запитываемого от одного или нескольких трансформаторов среднего/низкого напряжения, должен осуществляться с учетом ряда факторов (действующих норм, практических и экономических соображений и пр.).

Несмотря на свое название, нейтраль небезопасна. Ее следует всегда считать активным проводником.

Существуют различные схемы нейтрали, обозначаемые двумя буквами: TT, IT и TN

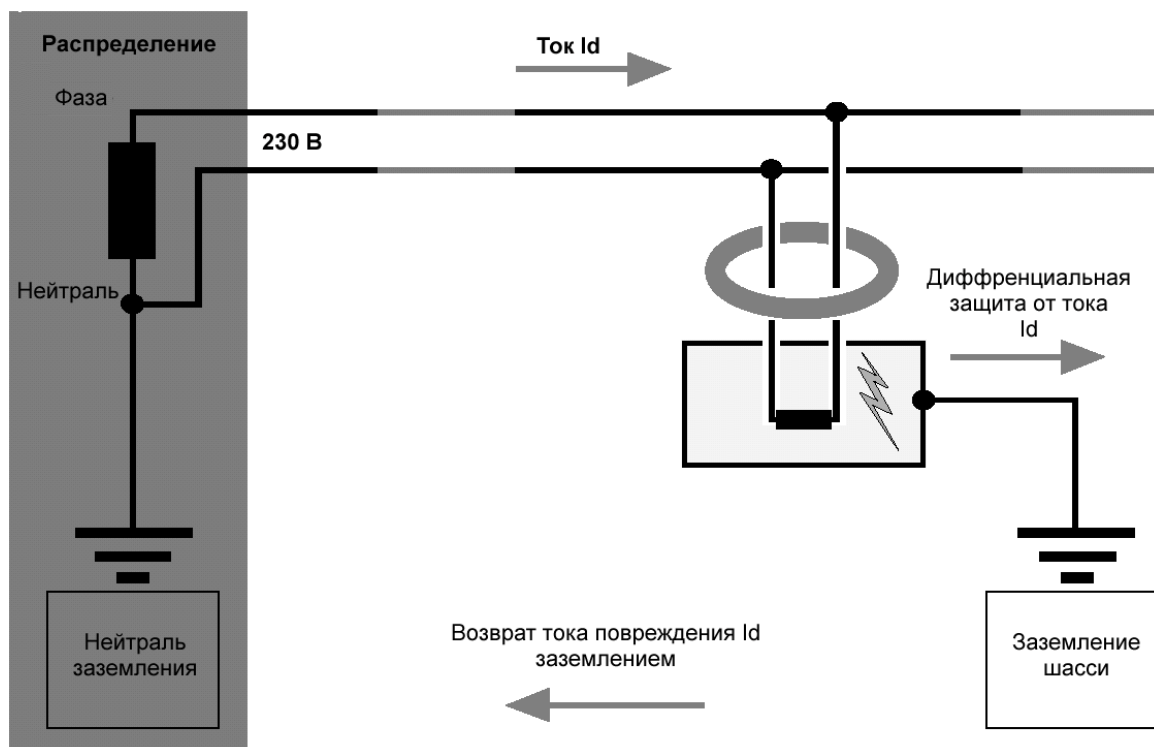
- Первая буква характеризует подсоединение **нейтрали** к заземлению у распределительного трансформатора:
 - T = прямое подключение нейтрали к заземлению на землю,
 - I = подключение через сопротивление.
- Вторая буква характеризует состояние заземления оборудования на шасси:
 - T = подключение заземлений на шасси к отдельному заземлению на землю,
 - N = подключение заземлений на шасси к нейтрали.

1.4-1 Схема ТТ

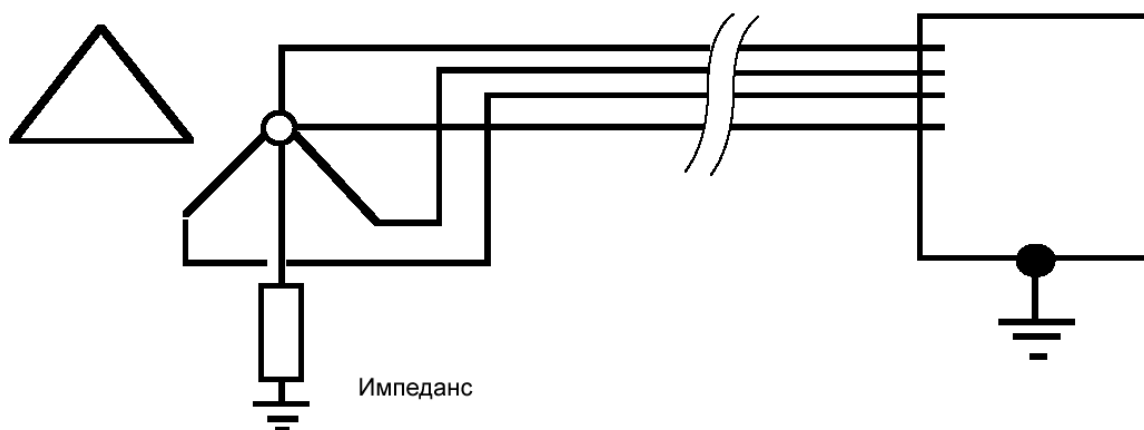


- Данная схема является обязательной в коммунальных распределительных системах низкого напряжения,
- Необходимы системы дифференциальной защиты,
- Каждое подключение (заземления на шасси) к земле должно быть защищено собственным устройством дифференциальной защиты,
- Отключение должно осуществляться при первом повреждении изоляции (по одной фазе),
- Лучше всего использовать один контур заземления.

Пример однофазного распределения с повреждением изоляции на фазе:

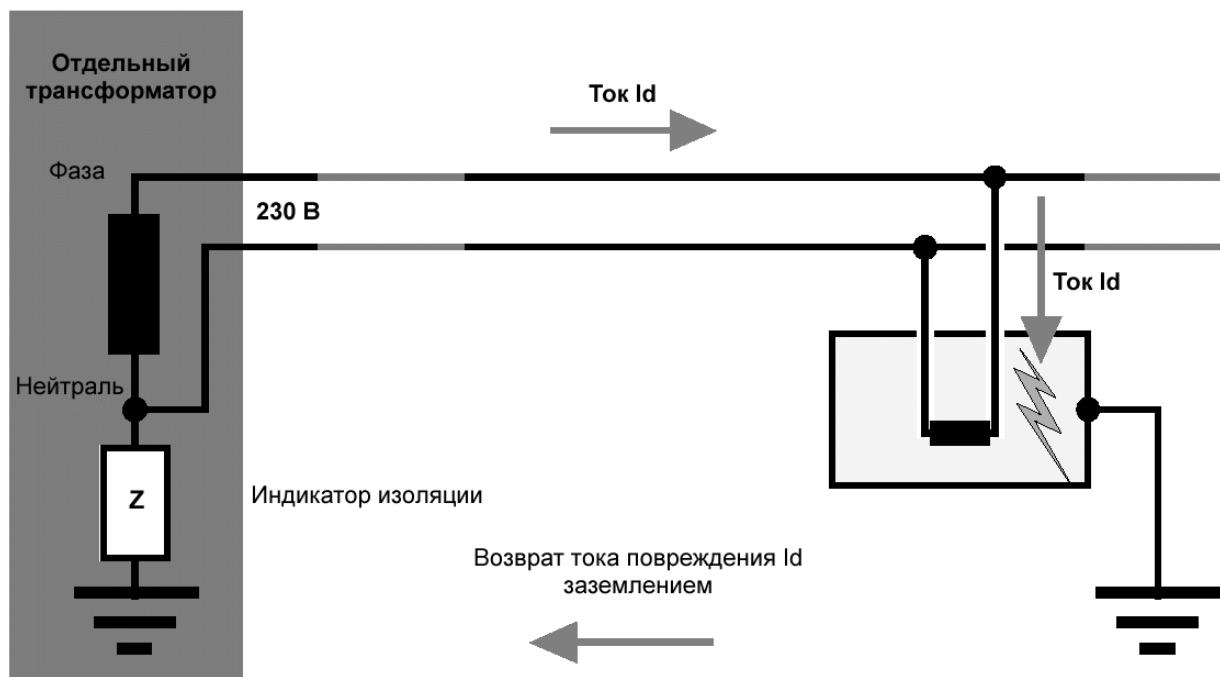


1.4-2 Схема IT

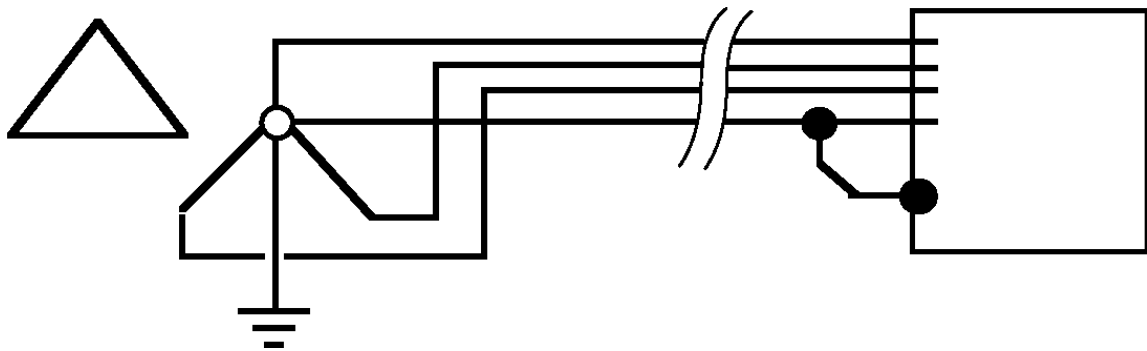


- Возможность продолжения работы после первого повреждения,
- О первом повреждении должен сигнализировать указатель состояния изоляции (или сопротивление),
- Данная схема требует отдельного трансформатора и технического обслуживания,
- При повторном повреждении защита аналогична схеме TN (за исключением второго повреждения на той же фазе),
- Расстояние между установками должно быть ограниченным, чтобы обеспечить незначительное падение напряжения при первом токе повреждения.
- Необходимо установить разрядник для защиты от перенапряжений.

Пример однофазного распределения с повреждением изоляции на фазе:

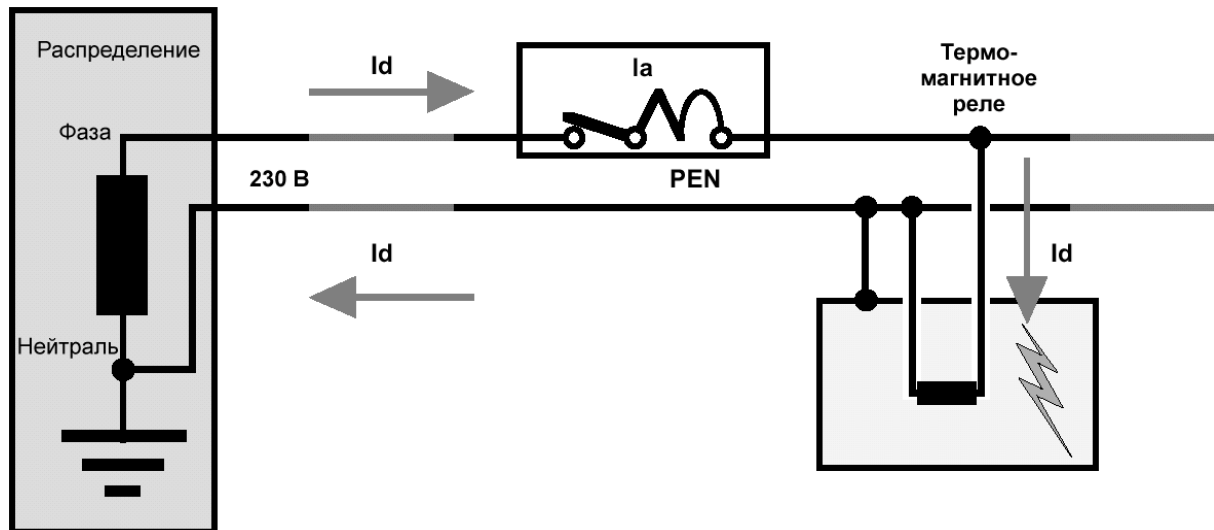


1.4-3 Схема TN



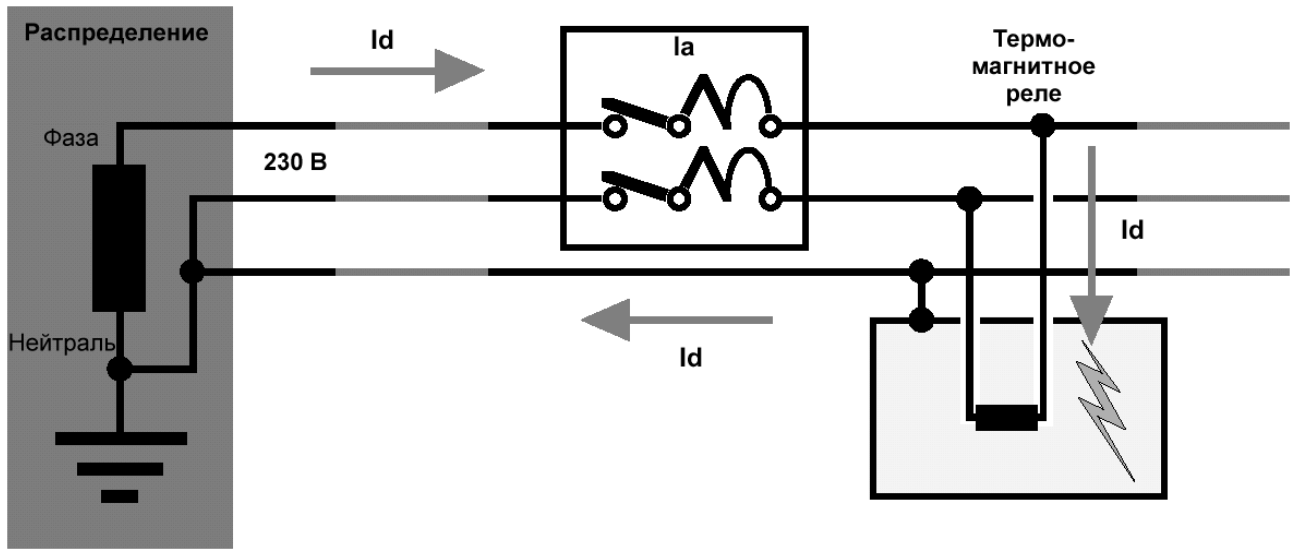
- Данная схема требует отдельного трансформатора,
- Необходимо дополнительное защитное заземление (см. стандарт NFC 15 100),
- Избирательное отключение при первом повреждении изоляции,
- Существует два варианта: TN-C (общее подключение PEN) и TN-S (отдельное подключение PE и N), оба варианта показаны ниже,
- Схема TN-C не может использоваться после схемы TN-S,
- Схему TN-C запрещается использовать с нестационарными кабельными линиями или с медным проводом сечением менее 10 мм²,
- Наилучшая схема – это TN-S, которую настоятельно рекомендуется использовать.

Пример схемы TN-C:



I_d : Ток повреждения,
PEN : Защитная земля и нейтраль
P : Фаза
N : Нейтраль

Пример схемы TN-S



Id : Ток повреждения,
 N : Нейтраль
 PE : Защитная земля

2.1 Общие указания

Электронные системы управления, проводка которых изначально проложена надлежащим образом в высококачественных кабелепроводах, экономит время и деньги за счет отсутствия необходимости в последующей повторной прокладке из-за электромагнитных помех или «шумов».

Широко известно, что кабелепроводы служат механической опорой. Однако они также могут оказаться существенным фактором снижения влияния помех при условии соблюдения определенных правил по их выбору, размещению и электрическому подсоединению.

В данном разделе термин «сигнальный кабель» означает кабель, по которому передается информация, например, сигналы от измерительных приборов, цифровые сигналы, видеосигналы и пр.

Для минимизации воздействия на сигнальные кабели кабелей, создающих помехи, **необходимо** соблюдать правила, показанные на приведенных ниже схемах.

2.2 Эффект ослабления

2.2-1 Правильные методы работы

Укладывайте (изолированные) кабели на всю их длину в металлические кабелепроводы.

Убедитесь в электропроводности каждого сегмента кабелепровода.

Подсоедините кабелепровод к контуру заземления (дополнительные подробности приводятся в Разделе 3).

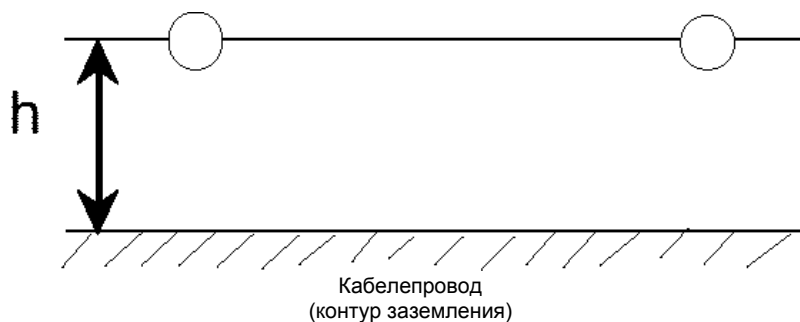
2.2-2 Принцип действия

Экранирование за счет взаимной индукции между кабелями и заземленными кабелепроводами.

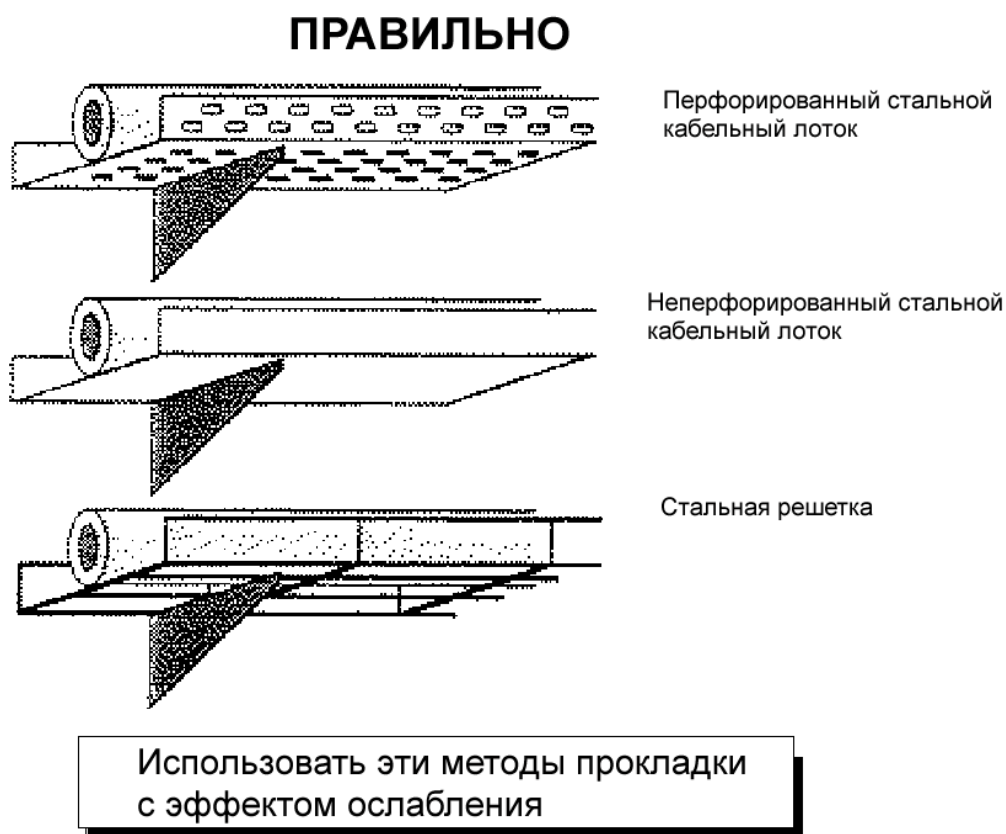
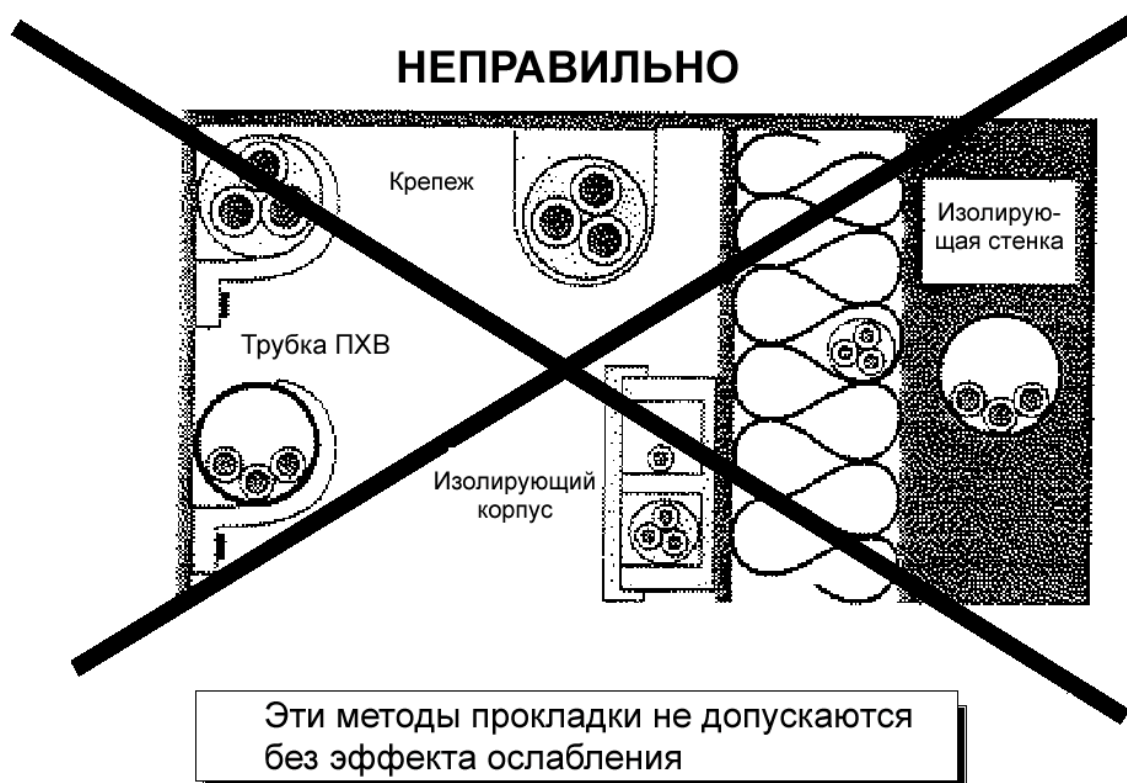
Ниже приводятся несколько цифр из книги «Защита от электромагнитных помех» (Уайт, Мардиган), свидетельствующих об эффективности прокладки кабелей в **металлических кабелепроводах, правильно соединенных друг с другом и с заземлением.**

Близко расположенное заземление уменьшает перекрестные наводки между кабелями следующим образом:

- В 10 раз, если расстояние $h = 20$ мм,
- **В 1000 раз**, если расстояние $h = 1$ мм.



2.2-3 Методы прокладки



2.3 Эффект разделения

2.3-1 Правильные методы работы

Сигнальные кабели следует укладывать в особые кабелепроводы, отдельно от кабелей, являющихся источником помех, например, от силовых кабелей.

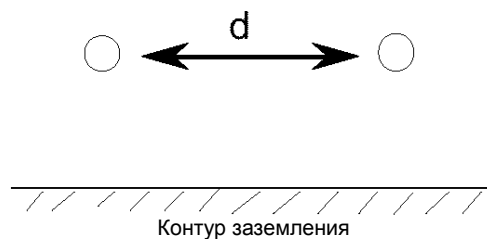
Сигнальные кабели должны располагаться в отдалении от генерирующего помехи оборудования.

2.3-2 Принцип действия

Ниже приводятся несколько цифр из книги «Защита от электромагнитных помех» (Уайт, Мардиган), свидетельствующих об эффективности использования **отдельных кабелепроводов**.

По сравнению с двумя расположенными рядом кабелями, перекрестные наводки уменьшаются следующим образом:

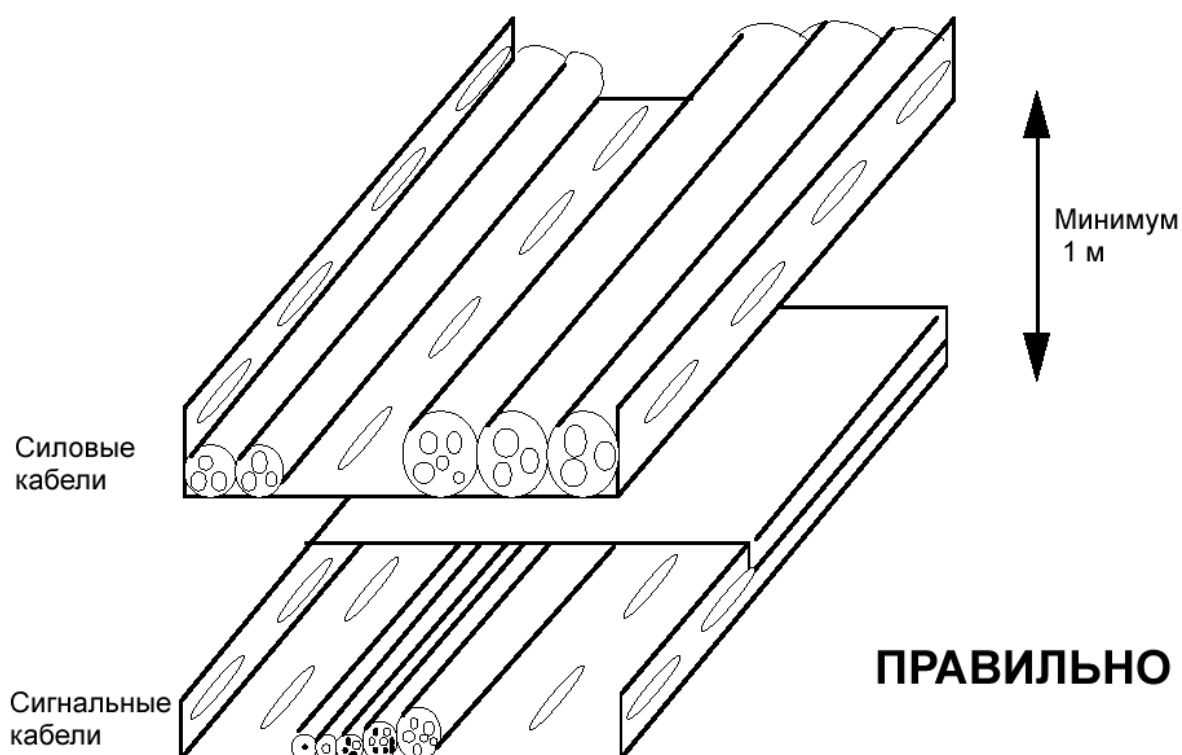
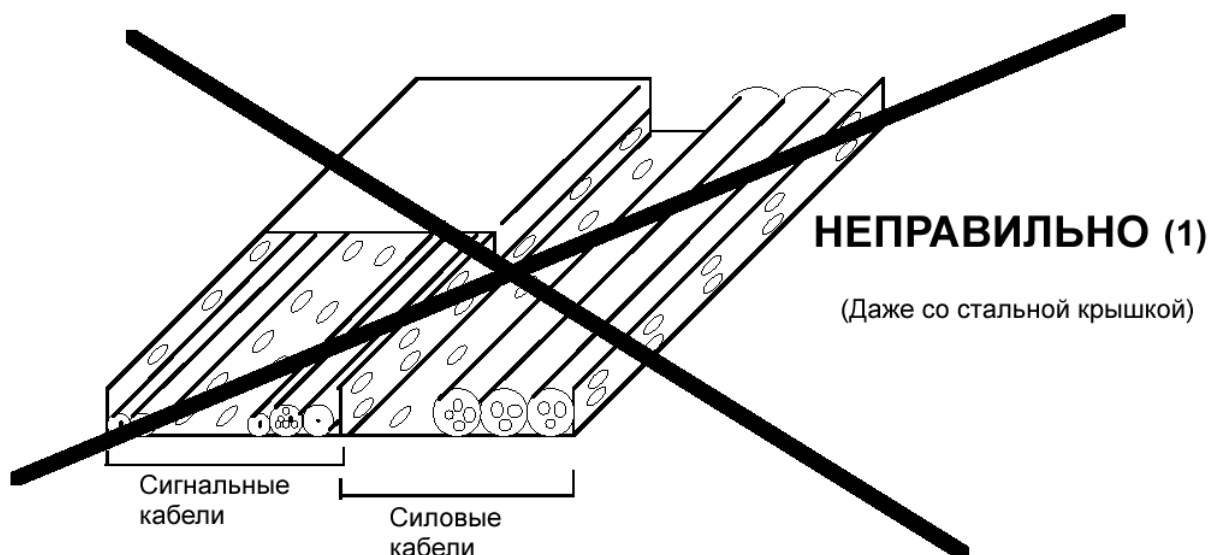
- В 10 раз, если расстояние d между ними составляет 10 см,
- В **1000 раз**, если расстояние d между ними составляет 1 мм.



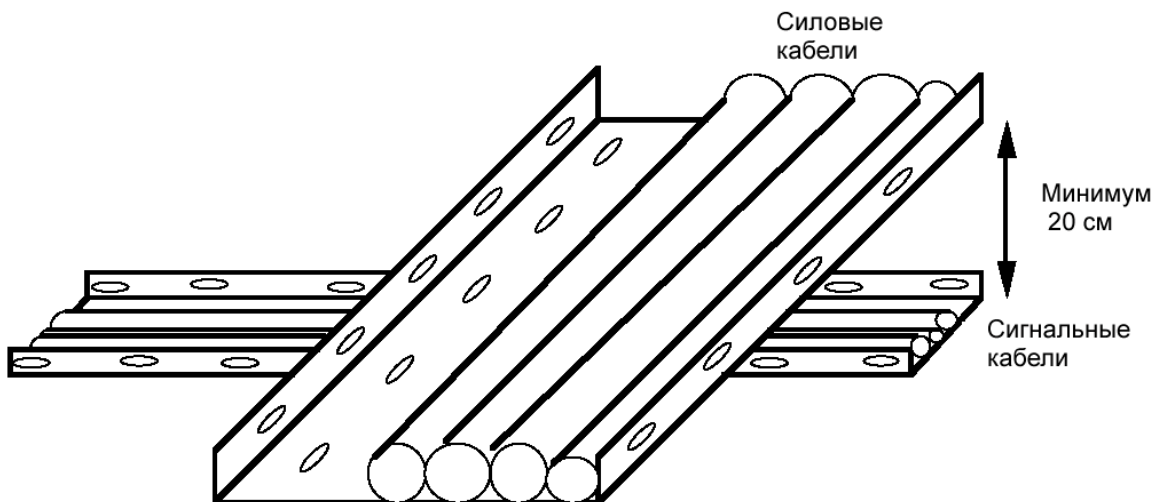
2.3-3 Методы прокладки

Силовые и сигнальные кабели следует укладывать в разные кабелепроводы, отдельно друг от друга:

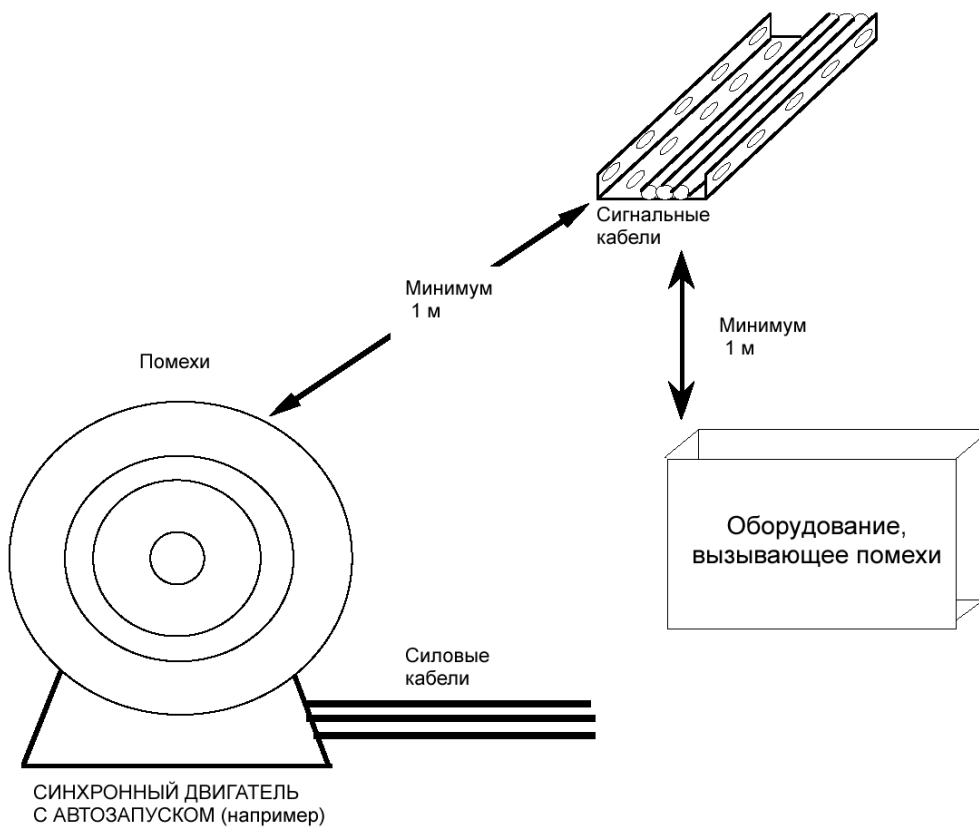
Кабелепроводы для силовых кабелей очень быстро заполняются. Когда потребуется добавить один или несколько силовых кабелей, возникает непреодолимое искушение проложить их в кабелепроводах, предназначенных для сигнальных кабелей.



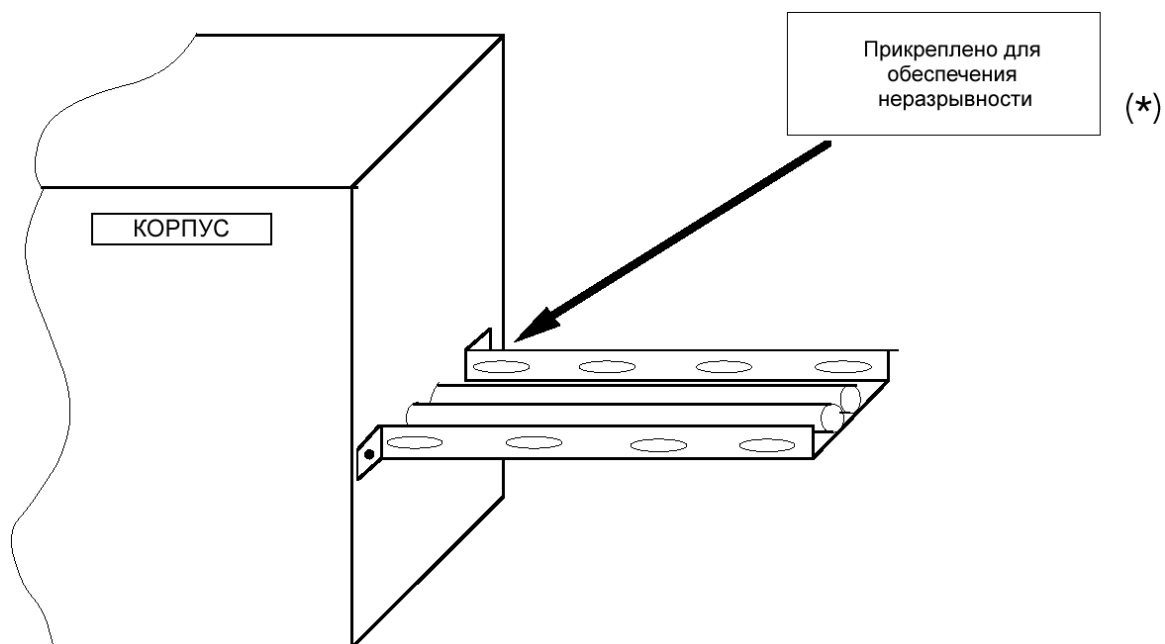
Кабельные трассы должны пересекаться под углом 90°



Расстояние между сигнальными кабелями и оборудованием, генерирующим помехи, должно составлять не менее одного метра.



Следует обеспечить электропроводность в точках соприкосновения кабелепроводов и корпусов оборудования.

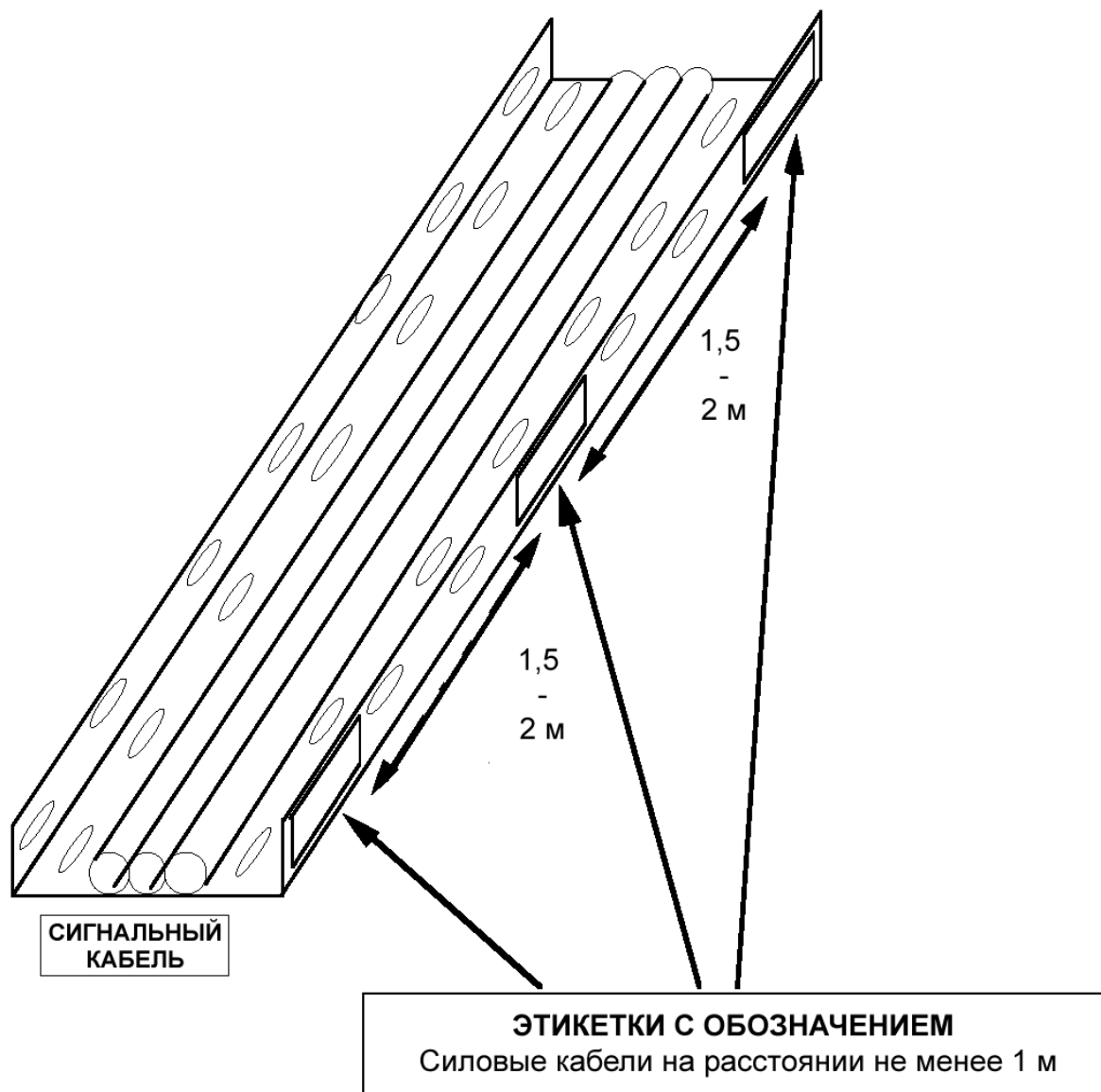


(*) Фиксация кабелепроводов должна осуществляться в двух и более точках:

- Удалите краску в точках соприкосновения,
- Зафиксируйте кабелепровод на корпусе с помощью болтов,
- Восстановите слой краски.

Обозначение кабелепроводов

- В соответствии с применяемым на предприятии производственным стандартом (при помощи специальных табличек или цветовых обозначений),
- При отсутствии производственного стандарта – при помощи табличек, см. ниже:



Расстояние между наносимыми на кабелепровод обозначениями должно составлять 1,5 - 2 метра, чтобы обозначения были видны после установки, в дальнейшем, новых перегородок или дополнительного оборудования.

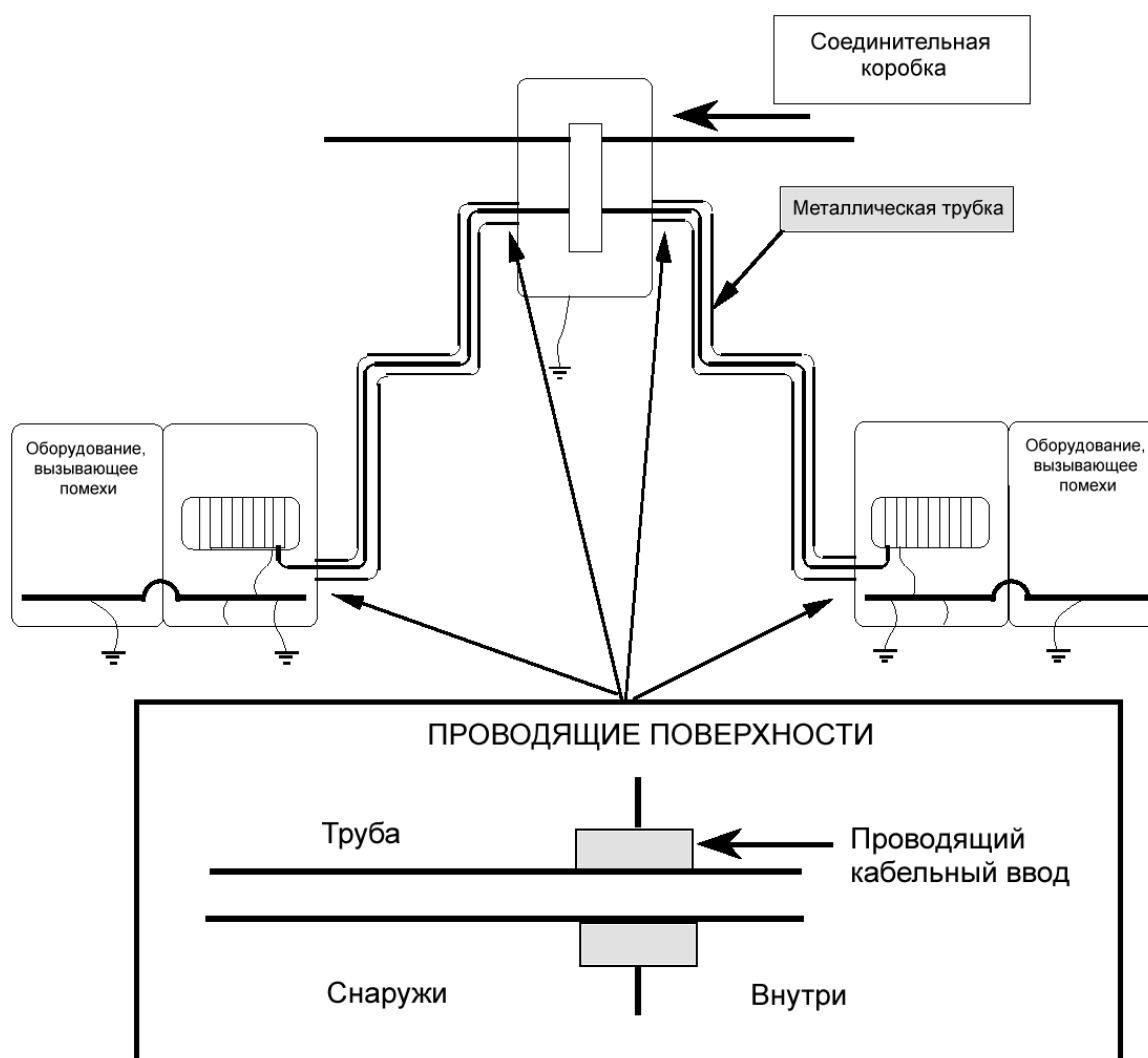
2.4 Особые случаи

При невозможности соблюдения расстояния между кабелепроводами и создающим помехи оборудованием, а также при особой интенсивности помех, генерируемых этим оборудованием, **необходимо** соблюдать следующие требования:

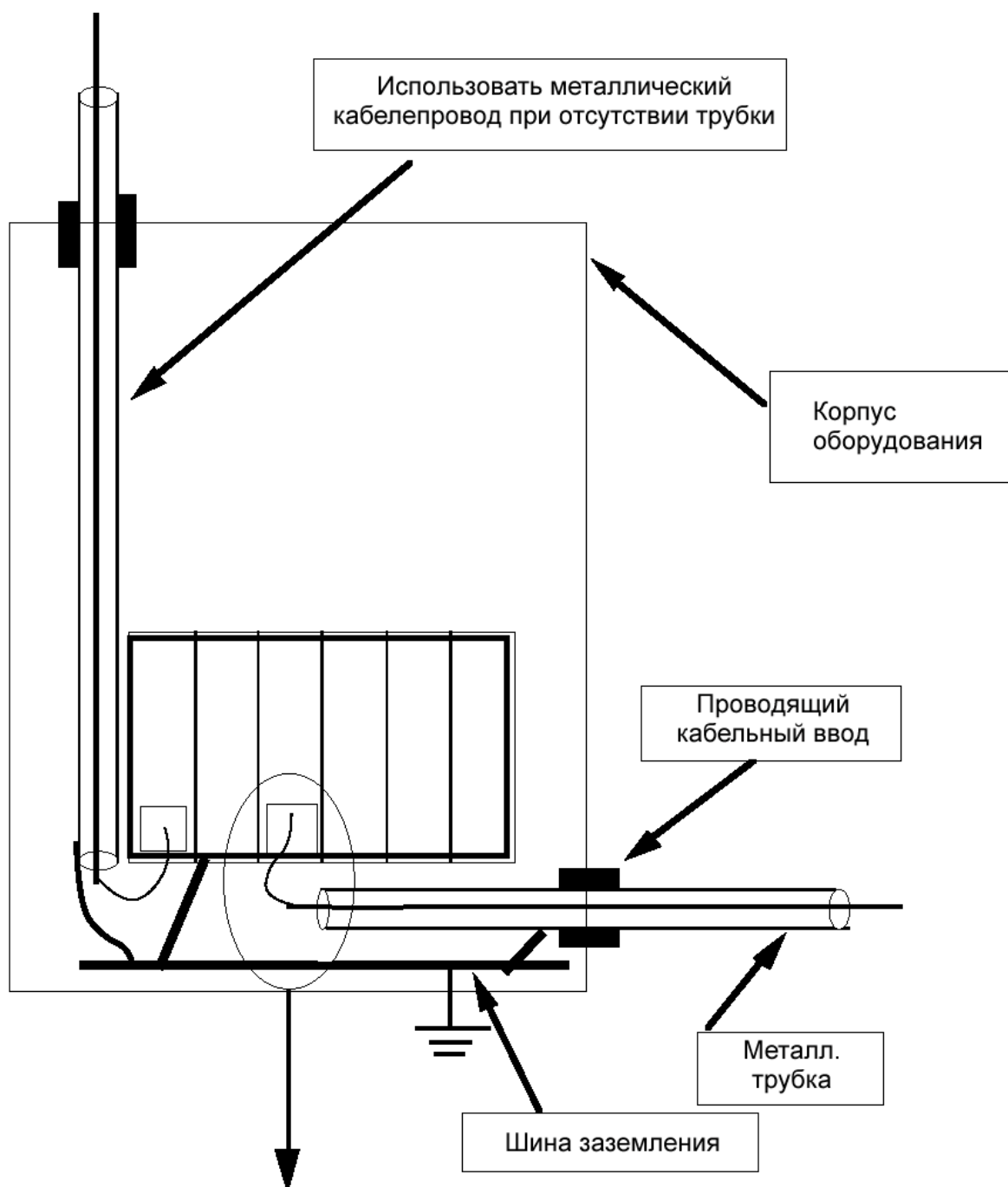
- Кабели следует прокладывать **на максимальном расстоянии** от создающего помехи оборудования;
- В тех случаях, когда избежать размещения кабелей вблизи оборудования, генерирующего помехи, не представляется возможным, **длину соответствующих участков кабелепроводов следует свести к минимуму**.

Кроме того, рекомендуется принять особые меры предосторожности, например, указанные ниже.

Эффективное решение – прокладывать сигнальный кабель в металлической трубе, непосредственно соединенной с шасси или корпусом соответствующего оборудования. Следует обеспечить полную электропроводность трубы на всем ее протяжении; крепление различных частей должно осуществляться при помощи сварки или болтами без покрытия или использования материалов для уплотнения резьбы (пенка или тефлон).

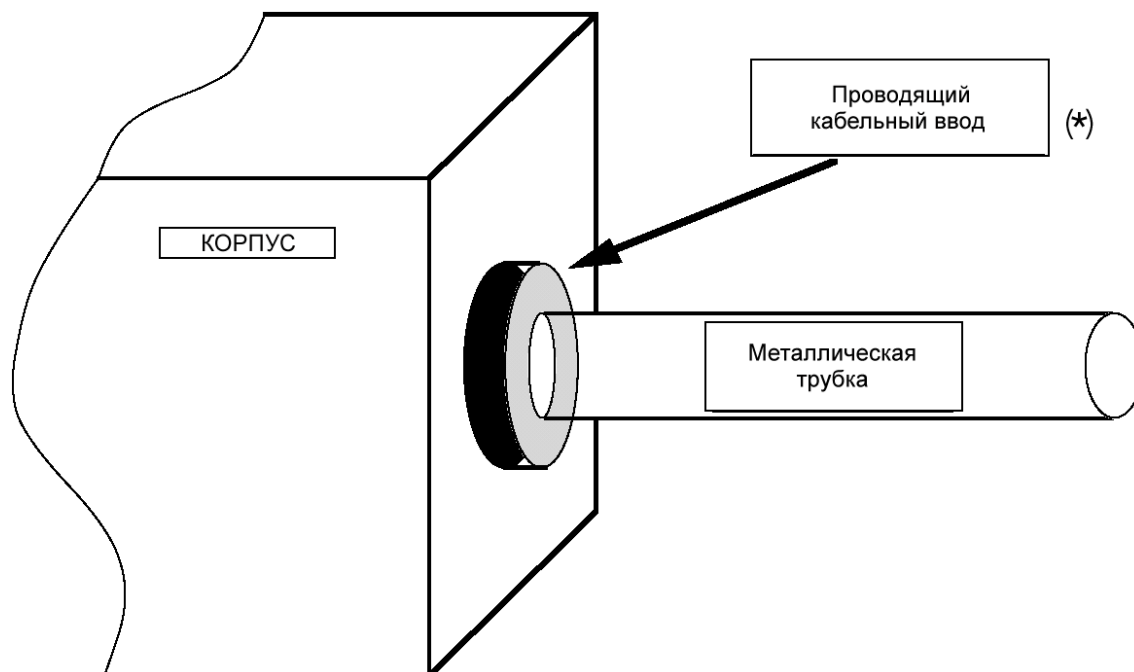


Подключение кабелей в защитных трубах



- Край трубы должен располагаться на минимальном расстоянии от подключаемого оборудования (не более 25 ... 30 см),
- Подключение трубы к шине заземления осуществляется с наименьшей длиной проводки,
- Концы трубы должны располагаться на максимальном расстоянии от оборудования, являющегося источником помех.

Обеспечьте электропроводность соединения между трубой и корпусом оборудования



(*) Меры предосторожности по монтажу:

- Удалите краску с соприкасающихся поверхностей,
- Установите **токопроводящие** кабельные вводы,
- Восстановите слой краски.

3.1 Общие указания

Электромагнитное экранирование промышленных управляющих устройств **обеспечивает наиболее эффективную защиту** от помех. Оно чрезвычайно эффективно на любых частотах (до 100 МГц и выше) и может проверяться при помощи испытания по IEC 801-4.

Оно защищает все цепи электропередачи и является высокоэффективным способом молниезащиты.

3.2 Принцип действия

Принцип действия заключается **в создании трехмерного «экрана»**, от 3 до 5 м с каждой стороны, **состоящего из вертикальных (1) и горизонтальных контуров заземления**, внутри которого **все оборудование соединено между собой по трем направлениям**.

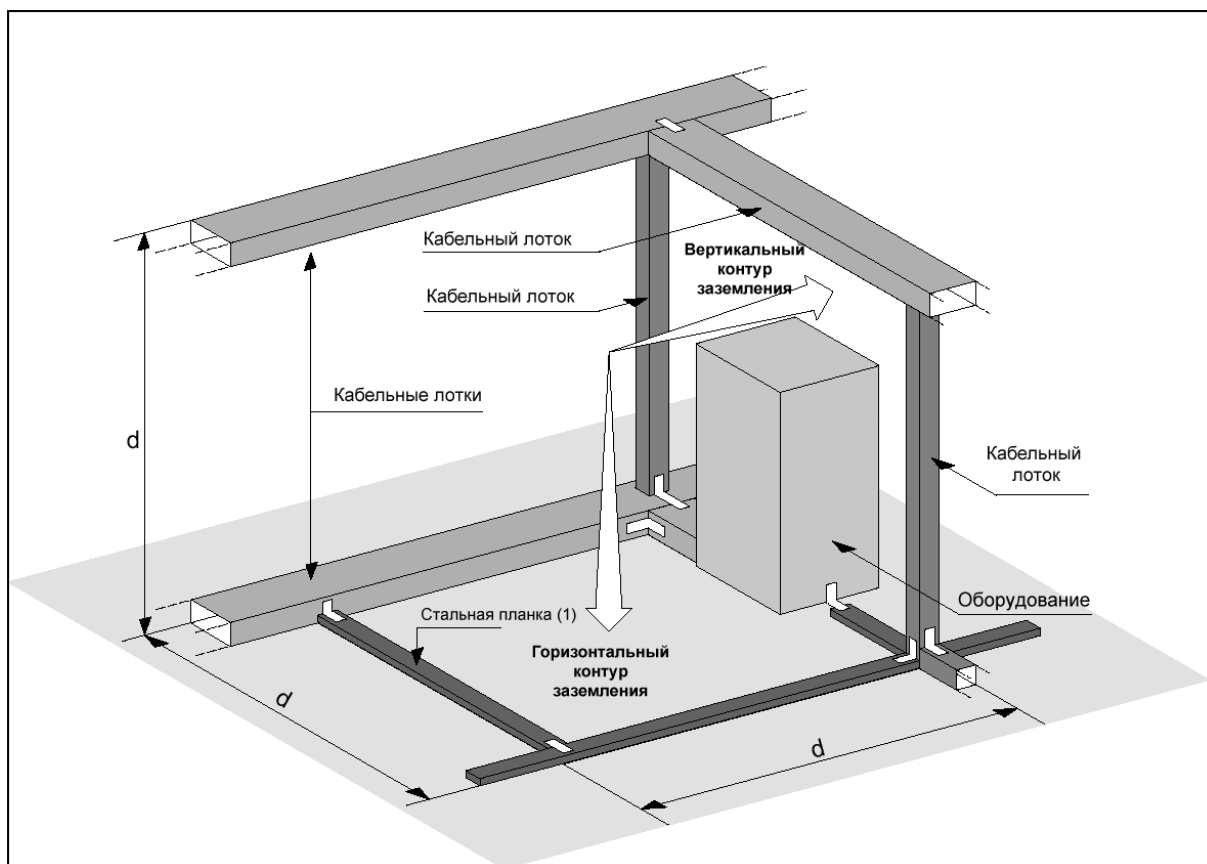
Для того, чтобы экран обеспечивал защиту **всего оборудования**, оно **должно подключаться к двум и более разным сторонам экрана** (например, вертикальной (1) и горизонтальной).

Соединительную или распределительную коробку следует рассматривать в качестве оборудования, защищаемого экраном, ее корпус должен подсоединяться к кабелепроводам и/или металлоконструкциям здания.

Вводимое в состав установки новое оборудование **должно подключаться к электромагнитному экрану**.

- (1) Горизонтальный контур сам по себе не обеспечивает достаточной молниезащиты. Поскольку производимый молнией ток направлен вертикально, он создает горизонтальное магнитное поле.

Пример принципиальной схемы трехмерного электромагнитного экрана



Расстояние "d" должно составлять менее 5 м.

(1) Электропроводность обеспечивается, например, стальной планкой 100 x 5 мм.

3.3 Создание экрана

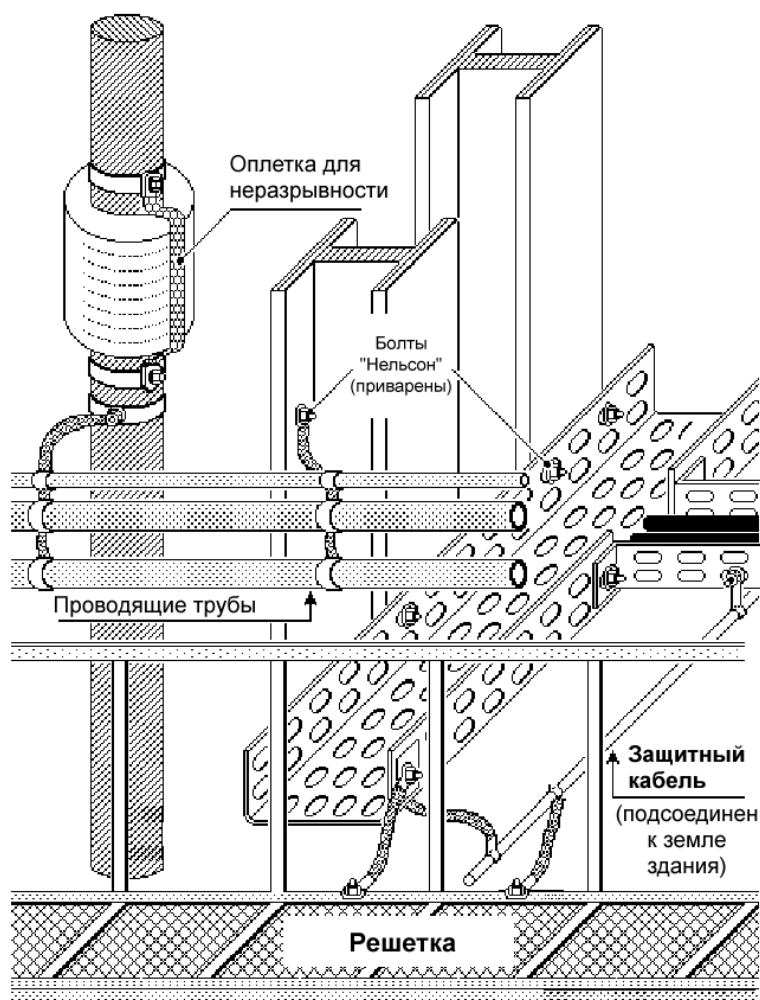
Многие проводящие элементы существуют на всех промышленных установках, в том числе:

- Металлический каркас и металлоконструкции здания,
- Корпуса, кожухи и шасси оборудования,
- Металлические кабелепроводы, упомянутые в Разделе 2.2-1 (с электропроводностью по всей длине),
- Защитные кабели и проводящие трубы.

Создание экрана состоит в электрическом межсоединении в соответствии с принципами, изложенными в Разделе 3.2:

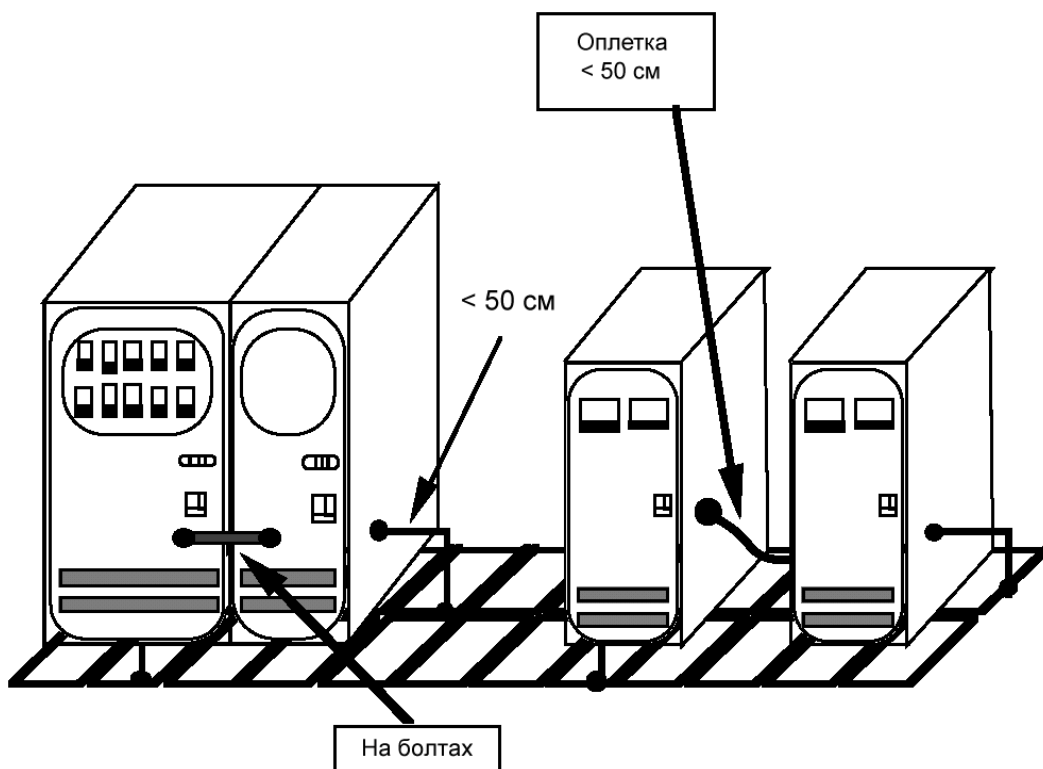
- **Всех имеющихся токопроводящих элементов,**
- Любых добавляемых впоследствии токопроводящих элементов.

Межсоединение проводящих элементов осуществляется путем непосредственного соединения или при помощи плоской медной оплетки не менее 35 мм² с минимальной длиной

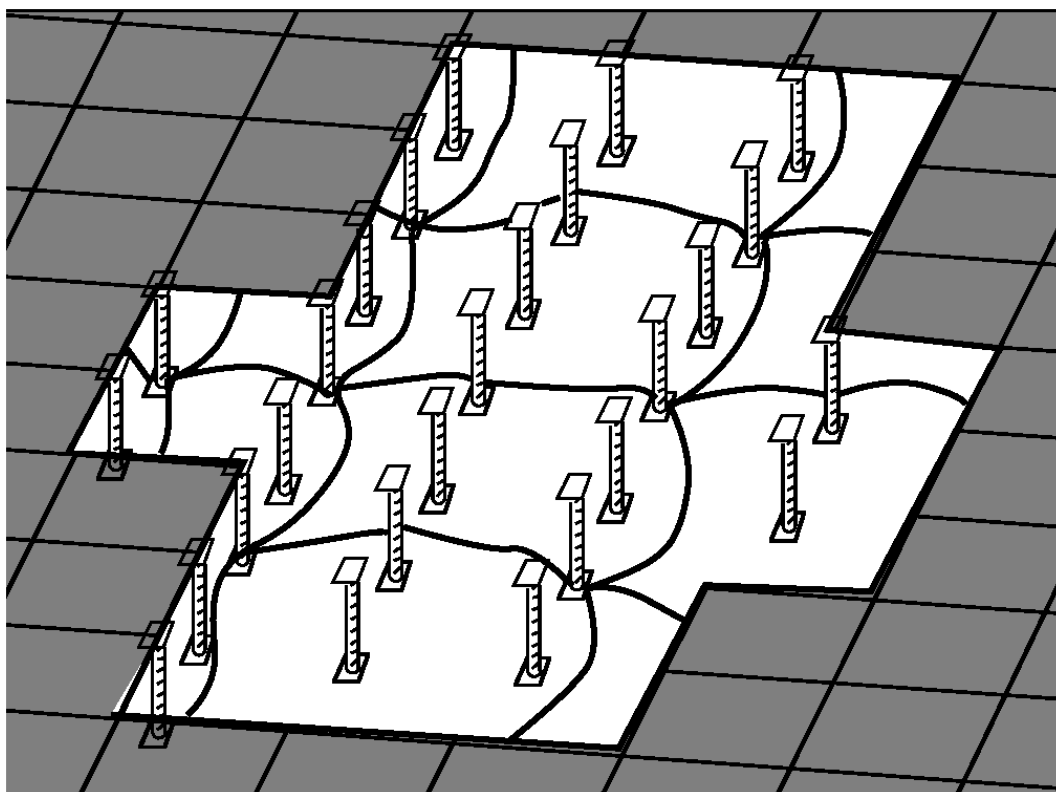


Соединение всех проводящих элементов

По мере возможности следует использовать металлический фальшпол.



Пример контура заземления, образованного путем попарного соединения опор фальшпола медной оплеткой 35 мм² через каждые 3 м.



В промышленных условиях все электронные системы управления должны заземляться посредством:

- соблюдения **норм безопасности** (Раздел 1),
- использования **эффекта ослабления и разделения** (Раздел 2),
- создания **электромагнитного экрана** (Раздел 3).

Эти рекомендации обеспечивают надежное заземление оборудования и эффективную защиту каналов связи от электромагнитных помех.

5.1 Опасности, связанные с электрическим током

Таблица физиологических и патогенных воздействий (переменный ток 50/60 Гц)

Сила тока	Воздействие на человеческий организм
1 мА	Порог кожной чувствительности
5 мА	Электрический удар
10 мА	Невозможность прекратить воздействие тока из-за сокращения мышц
25 мА в течение 3 мин.	Паралич дыхательной мускулатуры
40 мА в течение 5 с 80 мА в течение 1 с	Желудочковая фибрилляция
20000 мА	Подавление нервных центров

Испытания для определения пороговых значений кожной чувствительности и мускульного сокращения проводились непосредственно на людях. Испытания по мышечным сокращениям, параличу дыхательной мускулатуры, желудочковой фибрилляции и подавлению нервных центров проводились на животных.

Учитывая индивидуальные характер пороговых значений, а также ненадежность экстраполяции на людей результатов, полученных на животных, приведенные в таблице значения следует считать ориентировочными.

5.2 Замечания по низковольтным системам питания

- Частые перепады напряжения продолжительностью не более 0,5 с.
- Зачастую возникает необходимость в фильтрации гармоник. В частности дифференциальную защиту трехфазной сети **необходимо** защищать от третьей гармоники при помощи фильтра.
- В отличие от соединений шасси и заземления, распределение электропитания должно осуществляться при помощи трансформатора со схемой «звезда».
- Статический источник бесперебойного питания обеспечивает защиту от помех только в дифференциальном, но не в синфазном режиме.
- Различные схемы нейтрали отличаются друг от друга только на низких частотах (менее 100 кГц) и только в синфазном режиме.
- Подсоединение нейтрали к заземлению на землю должно осуществляться только в одной точке (это представляет собой проблему в схеме TN-C).
- Наилучшая схема – TN-S.

5.3 Список литературы

- Стандарт IEC 801.4.
- Стандарт IEC 364.4.41.
- Стандарт NFC 15.100.
- Стандарт ECMA-97.
- Стандарт IEC 65A/WG6 (проект).
- Процессорный комплекс IBM System/370 - 3090: Инструкции по монтажу – Планирование аппаратной конфигурации (GC22-7074-6).
- Общее справочное руководство IBM: Инструкции по монтажу – Планирование аппаратной конфигурации (GC22-7072).
- «Защита от электромагнитных помех», Уайт, Мардиган, изд-во Interference Control Technologies (4-е изд. 1986 г. – шт. Вирджиния, США).