

## Принципы исполнения систем заземления для обеспечения ЭМС

---

В данном разделе рассмотрены вопросы заземления и эквипотенциального соединения устройств обработки информации и других аналогичных устройств, электрически связанных между собой, для обмена сигналами.

Системы заземления предназначены для выполнения нескольких функций. Они могут функционировать отдельно или вместе и обеспечивать одну или несколько следующих функций:

- защиту людей от поражения электрическим током;
- защиту оборудования от повреждения электрическим током;
- нулевая точка отсчета потенциала для слаботочных сигналов;
- обеспечение требуемого уровня электромагнитной совместимости.

Система заземления обычно проектируется и устанавливается с целью обеспечить низкое сопротивление, способное отводить токи короткого замыкания и высокочастотные токи от электронных устройств и систем.

Существуют различные системы заземления, и для некоторых из них требуется соблюдение специальных условий.

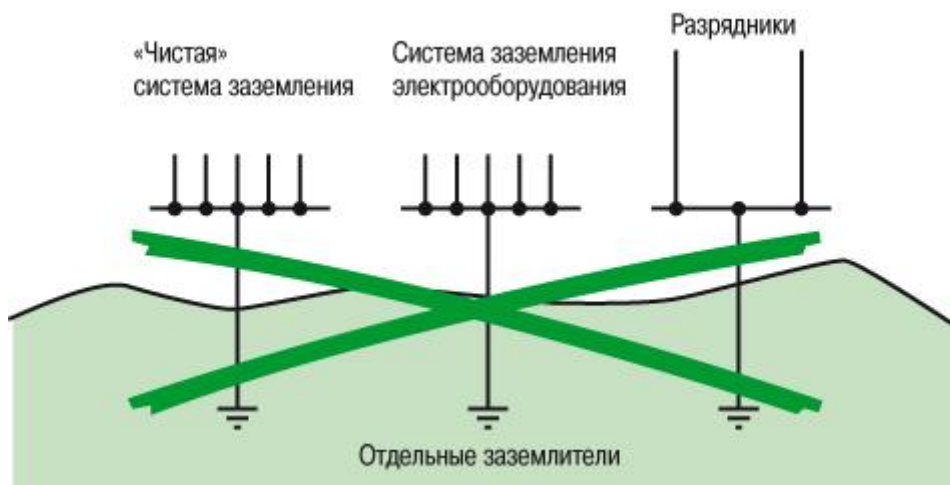
Эти условия не всегда выполняются в типичных электроустановках. Представленные в данном разделе рекомендации предназначены именно для таких электроустановок.

Правильно выполненная система заземления и уравнивания потенциалов значительно улучшает электромагнитную совместимость и обеспечивает:

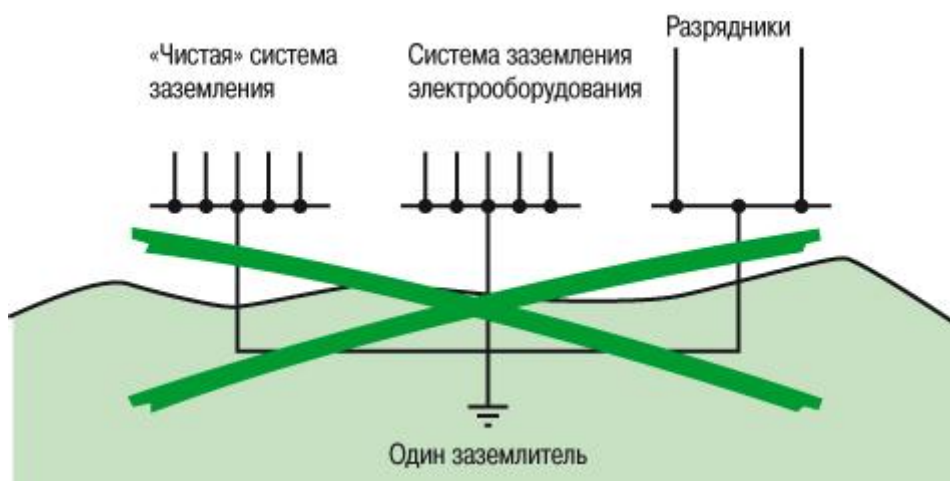
- улучшенную электромагнитную совместимость компьютерных и иных систем;
- соответствие требованиям электромагнитной совместимости директивы ЕЕС 89/336 (излучение помех и устойчивость к помехам);
- возможность надежной работы различного электрооборудования;
- высокий уровень систем безопасности и контроля доступа, а также надежность и/или эксплуатационную готовность системы.

В настоящее время признано, что использование независимых заземлителей, каждый из которых обслуживает отдельную сеть заземления, не только неприемлемо с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости, но и представляет серьезную угрозу для безопасности. Действующие в некоторых странах строительные нормы и правила запрещают применение таких систем.

Использование отдельной «чистой» системы заземления для электронного оборудования и «грязной» системы заземления для силового оборудования не рекомендуется с точки зрения обеспечения требуемой электромагнитной совместимости, даже если используется один заземлитель (**рис. Q3** и **рис. Q4**). При разряде молнии в электроустановке возникнут высокочастотные возмущения, ток короткого замыкания и переходные токи. Возникшие в результате этого переходные напряжения приведут к повреждению или выходу электроустановки из строя. Если монтажные работы и работы по техническому обслуживанию проводятся должным образом, применение такого подхода допускается (для промышленной частоты 50 Гц), но обычно он неприемлем с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости и не рекомендуется для основного применения.

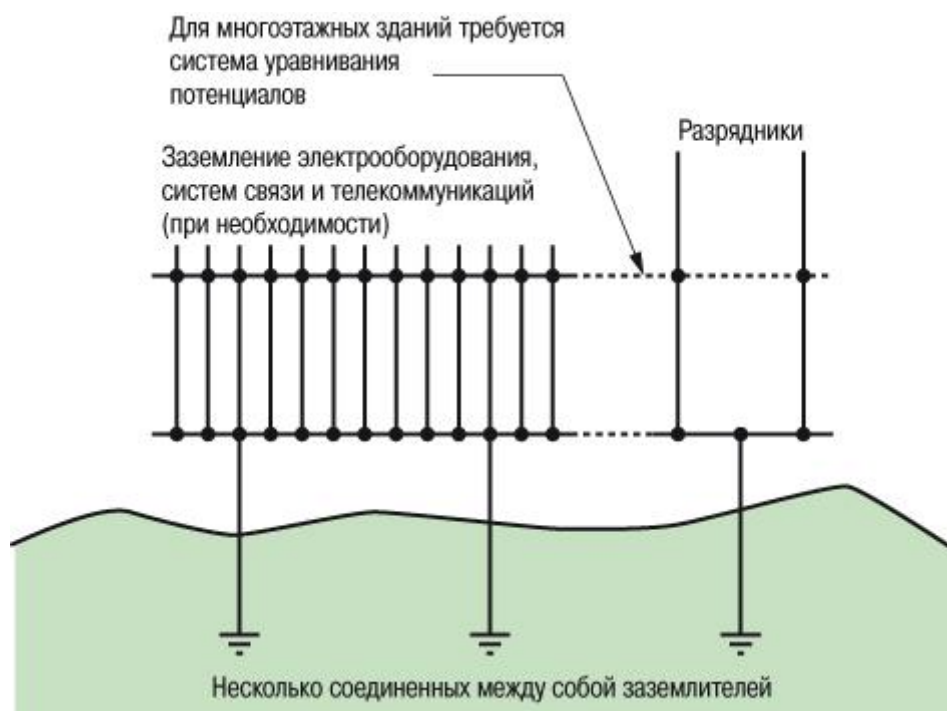


**Рис. Q3 :** Применение независимых заземляющих электродов обычно неприемлемо с точки зрения безопасности и обеспечения электромагнитной совместимости



**Рис. Q4 :** Электроустановка с одним заземляющим электродом

Рекомендуемое количество заземлителей - два или три (**рис. Q5**). Такой подход обеспечивает безопасность и электромагнитную совместимость. Это не исключает и другие конфигурации, которые допускаются, если гарантировано надлежащее обслуживание.



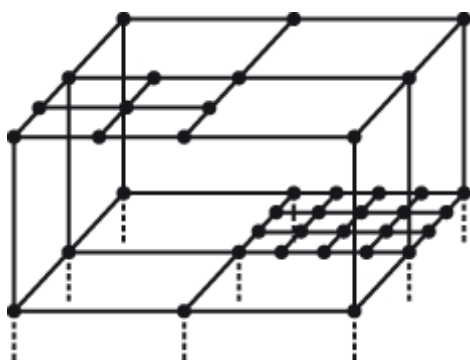
**Рис. Q5 :** Электроустановка с несколькими соединенными между собой заземляющими электродами

В типовой электроустановке для многоэтажного здания каждый этаж должен иметь собственную сеть заземления (обычно в виде сетки), и все сетки должны быть соединены между собой и присоединены к заземлителю. Для обеспечения защиты от обрыва одного из проводников (чтобы ни одна из секций сети заземления не оказалась отсоединенной) требуются не менее двух соединений (избыточное резервирование).

На практике для получения более равномерного распределения токов используется более двух соединений. Это сглаживает различия в потенциалах и общем сопротивлении между различными этажами здания.

Параллельные контуры тока имеют разные резонансные частоты. Если один из контуров имеет большое сопротивление, то он наверняка шунтируется другим контуром, имеющим другую резонансную частоту. В целом, в широком спектре частот (от десятков герц до мегагерц) наличие большого количества контуров приводит к системе с низким полным сопротивлением (**рис. Q6**).

Каждое помещение в здании должно иметь проводники системы заземления для эквипотенциального соединения устройств, систем, кабелепроводов и конструкций. Эту систему можно усилить с помощью металлических труб, лотков, опор, подставок и др. В специальных случаях, например, в аппаратных серверных или в компьютерных помещениях, для выравнивания потенциалов при соединении устройств коммуникационными кабелями можно усилить существующую сеть заземления дополнительными заземляющими проводниками или шинами и создать специальную зону (**рис. Q6**).



*Рис. Q6 : Каждый этаж имеет свою сетку заземления, и эти сетки соединены между собой в нескольких точках. Некоторые сетки цокольного этажа усилены для создания специальной зоны*

## Конструктивное исполнение систем ЭМС

---

### Содержание

- [Эквипотенциальные соединения внутри и вне зданий](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - улучшение условий эквипотенциальности](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - разделение кабелей](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - фальшполы](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - прокладка кабелей](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - применение экранированных кабелей](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - сети связи](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - ограничители перенапряжений](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - разводка кабелей в шкафах](#)
- [Конструктивное исполнение ЭМС - стандарты](#)

## Эквипотенциальные соединения внутри и вне зданий

---

Основными целями заземления и эквипотенциального соединения являются:

- **Обеспечение электробезопасности**

Посредством ограничения величины напряжения прикосновения и длины контура возврата токов короткого замыкания.

- **Обеспечение электромагнитной совместимости**

Посредством устранения различий в потенциалах и использования эффекта экранирования.

В системе заземления неизбежно распространяются блуждающие токи. Невозможно устранить в электроустановке все источники помех. Также неизбежны замкнутые петли (контуры) заземления. Когда электроустановка оказывается под воздействием магнитного поля, например поля, созданного молнией, то в контурах, образованных различными проводниками, возникает разность потенциалов, а в системе заземления протекают токи. Поэтому система заземления оказывается под непосредственным влиянием любых внешних воздействий.

До тех пор пока эти токи протекают в системе заземления, а не в электронных цепях, они не наносят ущерб. Однако, если сети заземления не эквипотенциальны, например, когда они подсоединены к заземлителю «звездой» (т.е. радиально), то высокочастотные блуждающие токи будут протекать везде, где это возможно, в том числе в цепях управления. В результате возможны сбои в работе оборудования, оно может быть повреждено или даже уничтожено.

Единственным недорогим способом устранения токов в системе заземления и поддержания равенства потенциалов является соединение цепей заземления между собой. Это способствует уравниванию потенциалов в пределах системы заземления, но не устраняет необходимость применения защитных проводников. Для того чтобы удовлетворить установленные нормативными документами требования обеспечения электробезопасности людей, между каждой единицей оборудования и клеммой заземления должны быть установлены защитные проводники достаточного сечения. Кроме того, за возможным исключением зданий со стальным каркасом, большое количество проводников, подключенных к ограничителям перенапряжений и устройствам системы молниезащиты, должно быть непосредственно присоединено к заземлителю.

Основное различие между защитным проводником РЕ и кабелем, отходящим от ограничителя перенапряжений, состоит в том, что по первому проводнику внутренние токи «возвращаются» в нейтраль понижающего трансформатора, в то время как по второму проводнику внешний ток (по отношению к рассматриваемой электроустановке) поступает на заземлитель.

В здании рекомендуется соединять сеть заземления со всеми доступными проводящими конструкциями, а именно металлическими балками, дверными коробками, трубами и др. Обычно достаточно соединить металлические кабель-каналы, кабельные лотки, трубы, вентиляционные трубопроводы в максимально возможном количестве точек. В местах, где установлено много оборудования, и размер ячеек сетки соединений превышает 4 метра, должен быть дополнительно проложен проводник для выравнивания потенциала. Сечение и тип проводника особого значения не имеют.

Крайне важно соединить между собой сети заземления зданий, имеющих общие кабельные соединения.

Соединение между собой сетей заземления должно выполняться с использованием нескольких проводников и всех внутренних металлических конструкций этих зданий.

В отдельном здании различные сети заземления (электронного оборудования, компьютерной техники, телекоммуникационного оборудования и др.) должны быть обязательно соединены между собой и образовывать общую систему уравнивания потенциалов.

Эта система заземления должна быть, по возможности, сетчатой (**рис. Q6**). Если система заземления является эквипотенциальной, то различия потенциалов между взаимодействующими устройствами будут небольшими, и это позволит решить многие проблемы обеспечения электромагнитной совместимости. Также будет уменьшена разность потенциалов в случае пробоев изоляции или ударов молний.

Если нельзя обеспечить условия эквипотенциальности между зданиями, или если расстояние между зданиями превышает 10 метров, настоятельно рекомендуется использовать оптоволоконные кабели связи и гальванические развязки (разделительные трансформаторы) для систем измерений и связи.

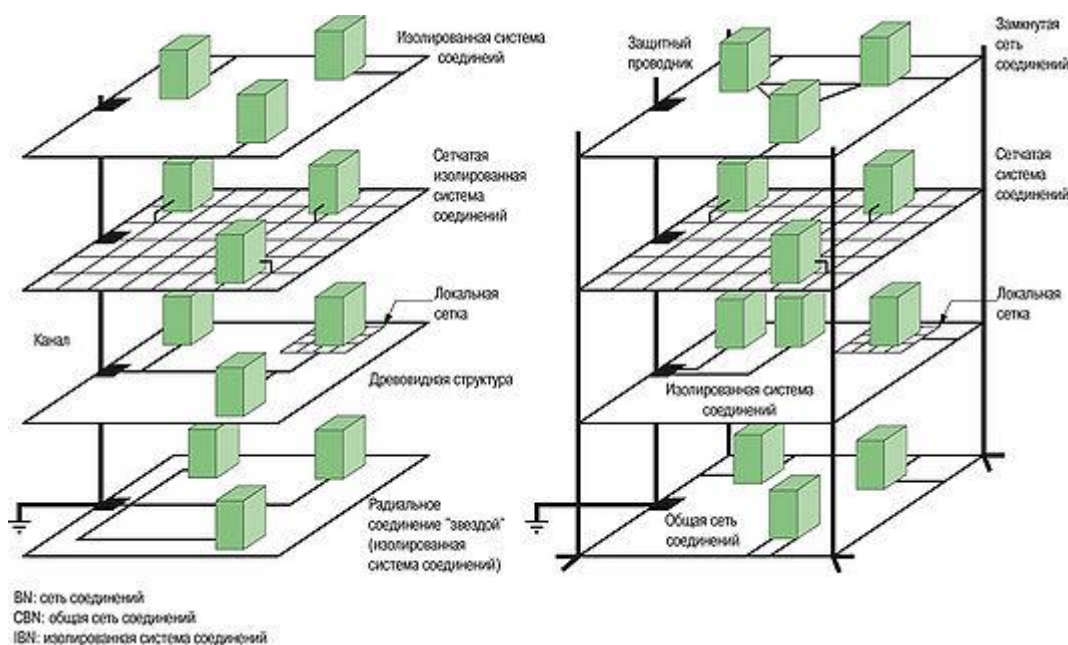
Указанные меры являются обязательными, если в системе электропитания используется схема заземления IT или TN-C.

## Конструктивное исполнение ЭМС - улучшение условий эквипотенциальности

### Сети соединений (уравнивание потенциалов)

Хотя идеальная сеть соединений (уравнивание потенциалов) должна представлять собой металлический лист или металлическую сетку с мелкими ячейками, опыт показал: применение сети соединений с ячейками размером 3х3 м позволяет устранить большинство помех.

Примеры различных сетей соединений (уравнивание потенциалов) показаны на **рис. Q7**. Схема, удовлетворяющая минимальным требованиям, содержит проводник (например, медный кабель или медную шину), проложенный по периметру помещения.



**Рис. Q7 : Примеры сетей соединений**

Длина соединений между элементом конструкции и сетью уравнивания потенциалов не должна превышать 50 см, и параллельно на определенном расстоянии от первого соединения должно быть установлено дополнительное соединение. Индуктивность соединения между заземляющей шиной электрического шкафа для размещения оборудования и сетью уравнивания потенциалов (см. ниже) должна быть менее 1 микрогенри (по возможности 0,5 микрогенри). Чтобы уменьшить взаимную индуктивность, можно, например, использовать один проводник длиной 50 см или два параллельных проводника длиной по 1 м, установленных на минимальном расстоянии друг от друга (не более 50 см).

По возможности, соединение с сеткой должно выполняться в месте пересечения, что позволит разделить высокочастотные токи на четыре, не удлиняя это соединение. Профиль соединительных проводников не имеет особого значения, но плоский профиль предпочтительней. Кроме того, проводник должен быть как можно короче.

## **Параллельный заземляющий проводник (ПЕС)**

---

Параллельный заземляющий проводник предназначен для того, чтобы уменьшить наводки при передаче сигнала по проводникам.

Параллельный заземляющий проводник должен быть рассчитан на большие токи, возникающие при коротких замыканиях или ударах молнии. Когда в качестве параллельного заземляющего проводника используется экранирующая оболочка кабеля, надо понимать, что она не способна выдерживать большие токи. В таком случае рекомендуется прокладывать этот кабель вдоль металлических элементов конструкции или кабелепроводов, которые для всего кабеля будут выполнять функцию параллельных заземляющих проводников. Другая возможность – проложить экранированный кабель рядом с большим параллельным заземляющим проводником, при этом на обоих концах, и этот кабель и параллельный заземляющий проводник присоединяются к локальной клемме заземления соответствующего оборудования или устройства.

В случае очень больших расстояний рекомендуется применять дополнительные соединения параллельного заземляющего проводника с системой заземления на разных расстояниях между устройствами. Эти дополнительные соединения образуют более короткий обратный контур для токов помех, протекающих по параллельному заземляющему проводнику. Для U-образных кабельных лотков, экранирующих оболочек и труб дополнительные соединения должны быть внешними для того, чтобы обеспечить их отделение от внутренних цепей.

## **Соединительные проводники**

---

В качестве соединительных проводников могут применяться металлические полосы, плоские жгуты или круглые проводники. Для высокочастотных систем металлические полосы и плоские жгуты предпочтительней (из-за уменьшения поверхностного эффекта), поскольку круглый проводник имеет более высокий импеданс, чем плоский проводник такого же сечения. По возможности отношение длины к ширине не должно превышать 5.

## **Конструктивное исполнение ЭМС - разделение кабелей**

---

Физическое разделение силовых и слаботочных кабелей является очень важным для обеспечения электромагнитной совместимости, особенно, если слаботочные кабели не экранированы, или экранирующая оболочка не соединена с открытыми проводящими частями. Чувствительность электронного оборудования в значительной степени зависит от кабельной разводки.

Если отсутствует разделение кабелей (прокладка различных типов кабелей в разных секциях кабелепровода, минимальное расстояние между силовыми и слаботочными кабелями и др.), то электромагнитная связь является наиболее сильной. В таких условиях электронное оборудование оказывается чувствительным к электромагнитным помехам, распространяющимся по соответствующим кабелям.

Для больших номинальных мощностей настоятельно рекомендуется использовать шинопроводы, например, такие, как Canalis. Уровни излучаемых электромагнитных полей при использовании таких шинопроводов в 10-20 раз ниже по сравнению со стандартными кабелями или проводниками.



Следует учитывать рекомендации, изложенные в разделах «Прокладка кабелей» или «Рекомендации по электропроводке».

### Конструктивное исполнение ЭМС - фальшпола

Включение полов в сетчатую систему соединений способствует выравниванию потенциалов участка и, значит, рассеиванию и ослаблению помех от низкочастотных токов.

Экранирующий эффект фальшпола непосредственно связан с его эквипотенциальностью. Если между панелями пола плохой контакт (например, применяются антистатические резиновые уплотнения), или если нарушен контакт между опорными кронштейнами (из-за загрязнений, коррозии, плесени или отсутствия опорных кронштейнов), необходимо использовать дополнительную эквипотенциальную сетку. В этом случае достаточно обеспечить надежные электрические соединения между опорными металлическими стойками. На рынке имеются в наличии небольшие пружинные зажимы для присоединения металлических стоек к эквипотенциальной сетке. В идеальном случае должна быть соединена каждая стойка, но часто оказывается достаточным соединить каждую вторую стойку по каждому направлению. В большинстве случаев приемлемой оказывается сетка с размером ячейки 1,5 x 2 м. Рекомендуемое сечение медного проводника – 10 мм<sup>2</sup> или более. Обычно используется плоский жгут. Для снижения коррозии рекомендуется использовать медь, покрытую оловом (рис. Q8).

Примерно раз в пять лет для панелей пола требуется профилактическое техническое обслуживание (в зависимости от типа панели пола и условий эксплуатации, включая влажность, пыль и коррозию). Необходима чистка покрытия и конструктивных элементов с применением подходящего чистящего состава.

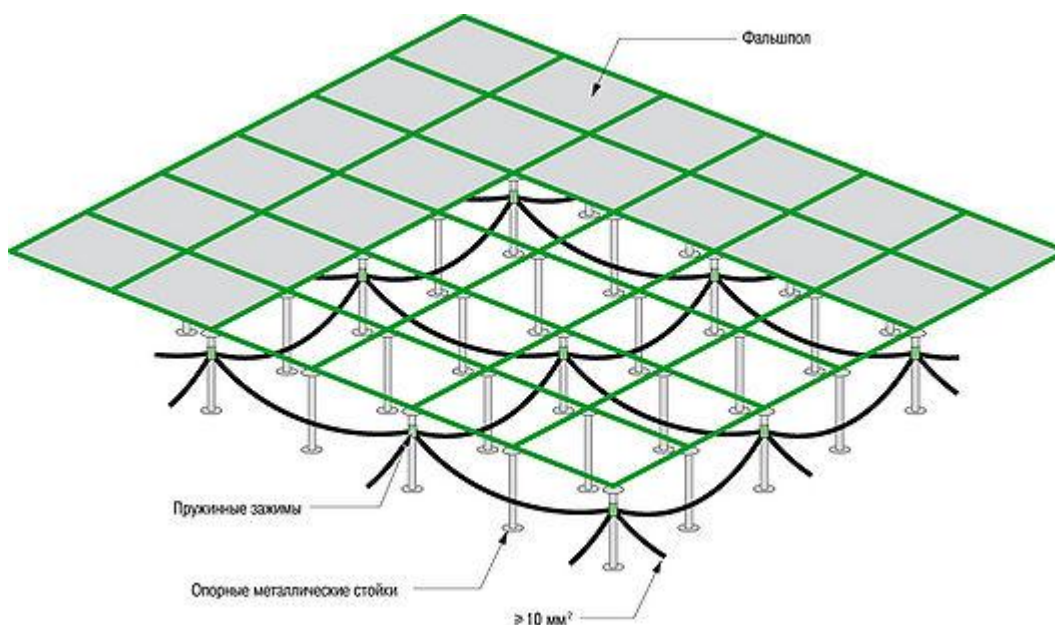


Рис. Q8 : Конструкция фальшпола

### Конструктивное исполнение ЭМС - прокладка кабелей

Выбор материалов и формы зависит от следующих факторов:

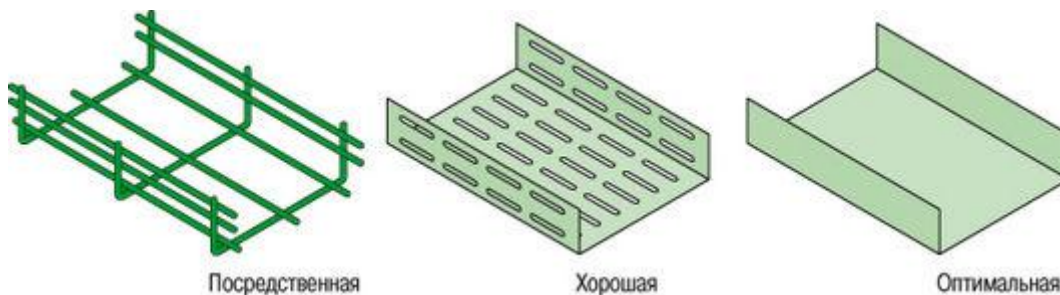


- интенсивности электромагнитных помех вдоль кабельных трасс (близость источников кондуктивных или излучаемых электромагнитных помех);
- разрешенного уровня кондуктивных или излучаемых электромагнитных помех;
- типа кабелей (экранированные, витые пары, оптоволоконные);
- способности оборудования, подключенного к электросети, выдерживать электромагнитные помехи;
- других ограничений, налагаемых окружающими условиями (химических, механических, климатических, противопожарных и др.);
- планируемых расширений системы электропроводки.

Кабелепроводы из неметаллических материалов пригодны для использования в следующих случаях:

- низкий уровень электромагнитных помех в окружающем пространстве;
- система электропроводки с низким уровнем излучений;
- ситуации, когда применения металлических кабелепроводов следует избегать (химические среды);
- системы с использованием оптоволоконных кабелей.

Для металлических кабелепроводов (лотков) именно форма (плоская, U-образная, трубчатая), а не поперечное сечение определяет импеданс. Замкнутые формы предпочтительней, чем открытые, поскольку снижают несимметричные помехи. Кабелепроводы часто имеют пазы для крепления кабеля - чем меньше, тем лучше. Пазы, вызывающие минимальные проблемы, - те, которые вырезаются параллельно и на некотором расстоянии от кабелей. Пазы, вырезанные перпендикулярно кабелям, не рекомендуются (**рис. Q9**).

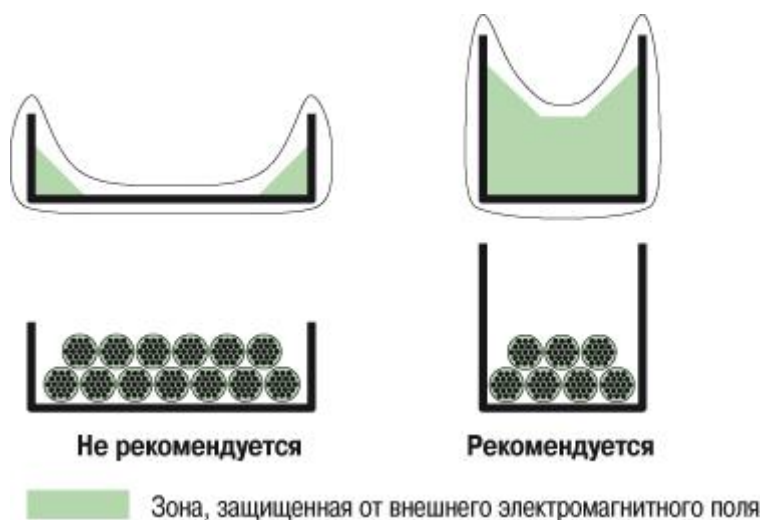


**Рис. Q9 : Эффективность различных типов металлических кабелепроводов (лотков)**

В определенных случаях плохой, с точки зрения защищенности от электромагнитных помех, кабелепровод может оказаться подходящим, если электромагнитная среда является мало интенсивной, если используются экранированные или оптоволоконные кабели, или если применяются отдельные кабелепроводы для разных типов кабелей (силовых, передачи и обработки данных).

Рекомендуется предусматривать место внутри кабелепровода для определенного количества дополнительных кабелей. Высота кабелей должна быть ниже разделительных перегородок кабелепровода (как показано на рисунке ниже). Крышки также улучшают электромагнитную совместимость кабелепроводов.

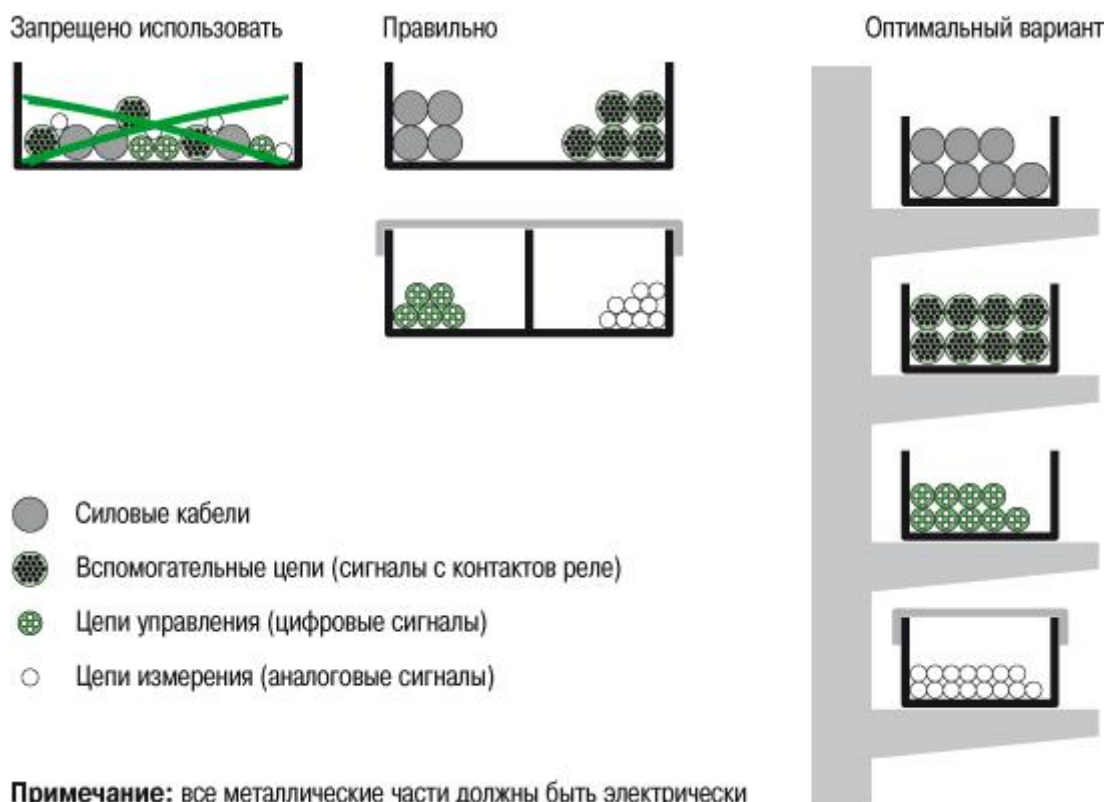
В кабелепроводах U-образной формы магнитное поле уменьшается в двух углах. По этой причине глубокие кабелепроводы предпочтительней (**рис. Q10**).



**Рис. Q10 :** Различные способы размещения кабелей

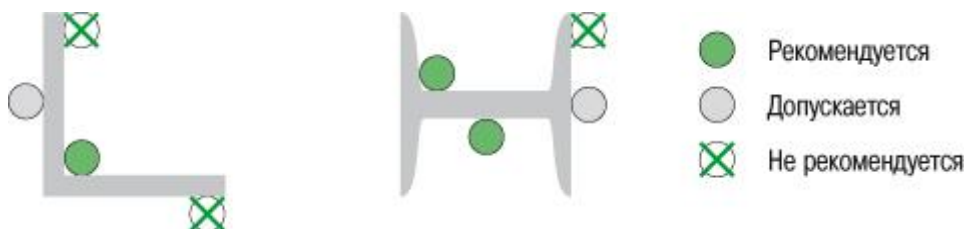
Различные типы кабелей (силовые и слаботочные) не должны устанавливаться в одной связке или в одном и том же кабелепроводе. Кабелепроводы не должны заполняться кабелями больше, чем наполовину.

Рекомендуется осуществлять электромагнитное отделение кабелей одной группы от другой посредством экранирования или прокладки таких кабелей в разных кабелепроводах. Качество экранирования определяет расстояние между группами. Если экранирование не используется, должны поддерживаться достаточные расстояния (рис. Q11).



**Рис. Q11 :** Рекомендации по прокладке групп кабелей в металлических кабелепроводах

Металлические элементы каркаса зданий можно использовать для обеспечения электромагнитной совместимости. Стальные балки (уголок, двутавр, U- и Т-образные) часто образуют непрерывную заземленную конструкцию с большими поперечными сечениями и поверхностями, к которым подведены многочисленные промежуточные заземляющие соединения. По возможности, кабели должны прокладываться вдоль таких балок. Размещение во внутренних углах предпочтительней, чем на наружных поверхностях (рис. Q12).



**Рис. Q12 : Рекомендации по прокладке кабелей в стальных балках**

Оба конца металлических кабелепроводов должны всегда соединяться с локальными заземляющими электродами. Для очень длинных кабелепроводов рекомендуется использовать дополнительные соединения с системой заземления. По возможности, расстояние между этими соединениями должны быть неодинаковыми (для симметричных систем разводки) с тем, чтобы избежать резонанса на одинаковых частотах. Все соединения с системой заземления должны быть короткими.

Существуют металлические и неметаллические кабелепроводы. Металлические варианты обеспечивают улучшенные характеристики электромагнитной совместимости. Кабелепровод (лотки и коробки для кабелей, кабельные кронштейны и др.) должны от начала до конца представлять собой непрерывную проводящую металлическую конструкцию.

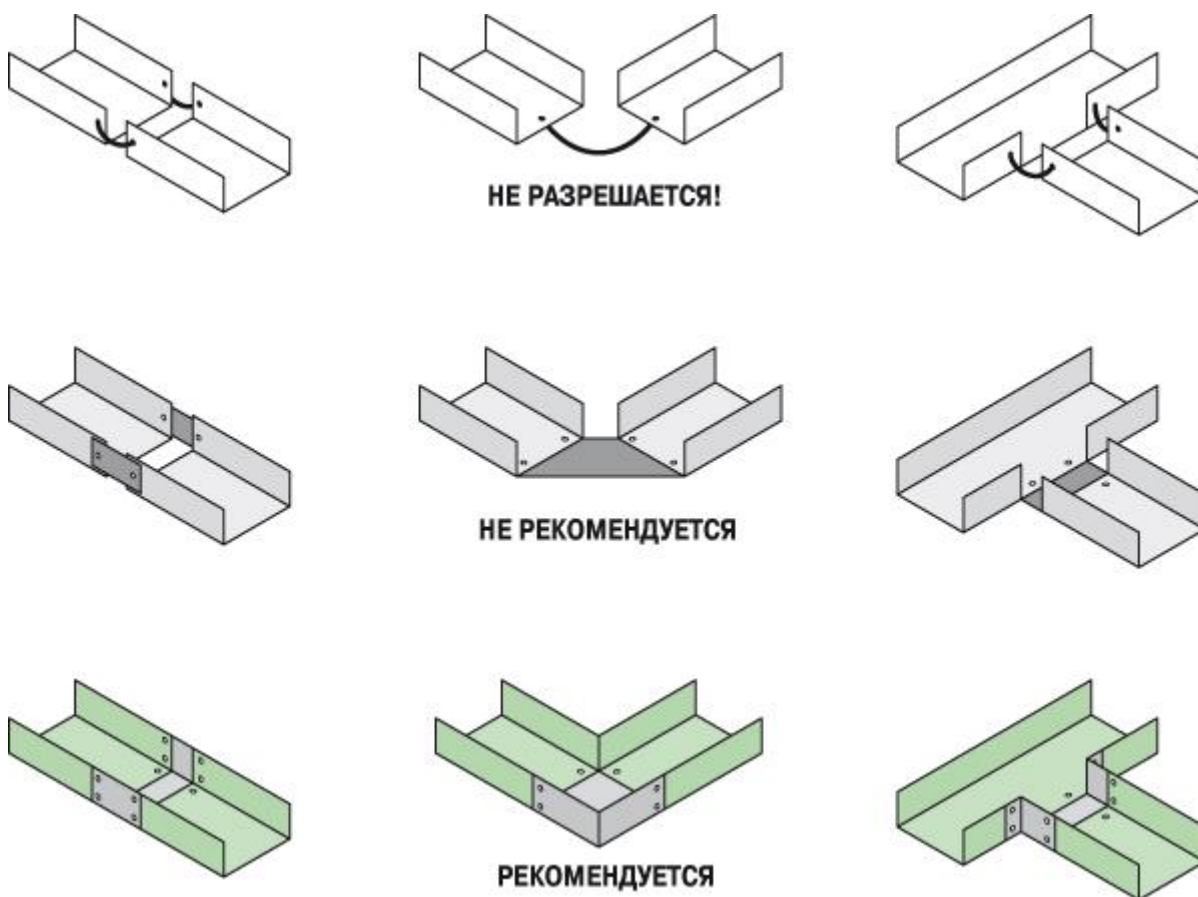
Алюминиевый кабелепровод имеет более низкое сопротивление по постоянному току, чем стальной кабелепровод того же размера, но импеданс ( $Z_t$ ) стали снижается при малых частотах, особенно когда сталь имеет высокую относительную магнитную проницаемость  $\mu$ . Следует соблюдать осторожность при одновременном использовании различных типов металлов, поскольку в определенных случаях не допускается непосредственный электрический контакт некоторых металлов. Несоблюдение этого правила может вызвать коррозию в месте контакта. С точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости это может быть недостатком.

В случаях когда устройства, подключенные к кабельной системе на основе незранированных кабелей, не подвергаются воздействию низкочастотных полей, электромагнитная совместимость неметаллических кабелепроводов может быть улучшена посредством добавления внутрь кабелепровода параллельного заземляющего проводника (РЕС). Оба конца должны быть подсоединены к локальной системе заземления. Присоединения должны быть сделаны к металлической части, имеющей низкий импеданс (например, к большой металлической панели корпуса устройства). РЕС-проводник должен выдерживать большие токи короткого замыкания.

Если металлический кабелепровод состоит из нескольких коротких секций, следует обратить внимание на обеспечение его непрерывности посредством надлежащего соединения различных секций. Желательно, чтобы секции сваривались по всем кромкам. Клепанные, болтовые или резьбовые соединения разрешаются в том случае, если контактные поверхности проводят ток (отсутствует краска или изолирующие покрытия) и защищены от коррозии. Следует соблюдать установленные моменты затяжки с тем, чтобы обеспечить необходимое давление для получения плотного электрического контакта между двумя частями кабелепровода.

Если выбрана конкретная форма кабелепровода, она должна использоваться на всей его длине. Все внутренние соединения (между секциями кабелепровода) должны иметь низкое полное сопротивление. Соединение секций кабелепровода с помощью одного провода создает большое местное сопротивление, которое резко ухудшает его характеристики электромагнитной совместимости.

Начиная с частоты в несколько мегагерц, соединительный промежуток в 10 см между двумя секциями кабелепровода резко ухудшает его коэффициент затухания (более чем в 10 раз) (рис. Q13).

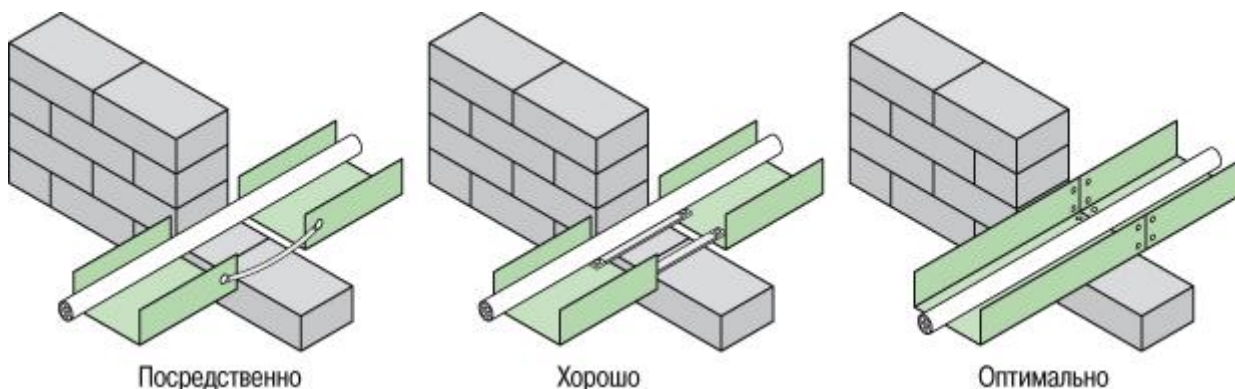


**Рис. Q13 :** Сборка металлических кабелепроводов

Всякий раз, когда проводятся изменения или расширения кабельной системы, важно следить за тем, чтобы они выполнялись в соответствии с правилами обеспечения электромагнитной совместимости (например, никогда не заменяйте металлический кабелепровод пластмассовым!).

Крышки для металлических кабелепроводов должны отвечать тем же требованиям, что и сами кабелепроводы. Крышка должна иметь большое количество контактов по всей длине. Если это невозможно, она должна быть соединена с кабелепроводом по крайней мере на двух концах с помощью коротких соединений (например, плетеных или сетчатых проводников).

В случае прохождения кабелепроводов через стену (например, противопожарную перегородку), между их двумя частями должны использоваться соединения с низким полным сопротивлением (**рис. Q14**).



**Рис. Q14 :** Рекомендации для соединения частей металлического кабелепровода при прохождении через стену

## **Конструктивное исполнение ЭМС - применение экранированных кабелей**

Если решено использовать экранированные кабели, необходимо также определить каким образом будет соединяться экранирующая оболочка (тип заземления, соединителя, кабельного ввода), ибо в противном случае преимущества будут в значительной мере снижены. Для получения эффективного экранирования оболочка должна быть соединена по всему своему периметру. На **рис. Q15** показаны различные способы заземления экранирующей оболочки.

Для компьютерного оборудования и цифровых каналов связи экранирующая оболочка должна быть соединена на обоих концах кабеля.

Соединение экранирующей оболочки является очень важным для обеспечения электромагнитной совместимости и следует обратить внимание на следующее:

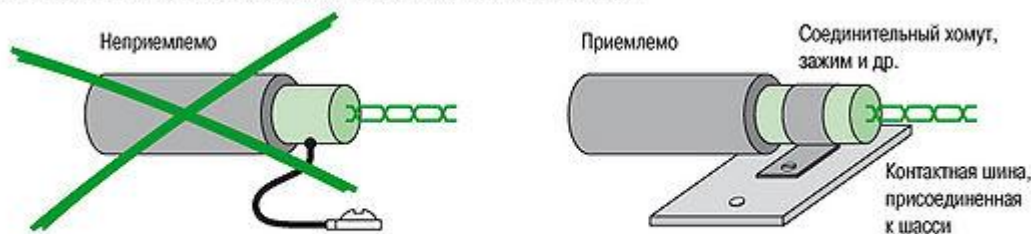
Если экранированный кабель соединяет оборудование, расположенное в одной и той же зоне уравнивания потенциалов, экранирующая оболочка должна быть присоединена к открытым проводящим частям на обоих концах кабеля. Если соединяемое оборудование не расположено в одной и той же зоне уравнивания потенциалов, то имеется несколько возможных решений:

- Присоединение к открытым проводящим частям только одного конца является опасным. В случае пробоя изоляции напряжение на экранирующей оболочке может оказаться смертельным для оператора или привести к повреждению оборудования. Кроме того, при высоких частотах экранирование будет неэффективным.
- Присоединение к открытым проводящим частям обоих концов может быть также опасным при пробое изоляции. В экранирующей оболочке возникнет большой ток, который может ее разрушить. Для устранения

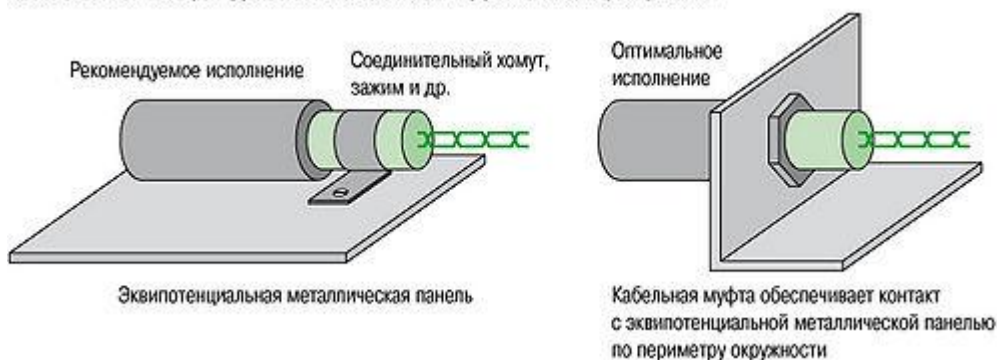


этой проблемы рядом с экранированным кабелем необходимо проложить параллельный заземляющий проводник. Сечение этого проводника зависит от тока короткого замыкания в данной части электроустановки. Очевидно, что если в электроустановке используется сетчатая система заземления с достаточно мелкой сеткой, то эта проблема не возникает.

Все соединения должны осуществляться с металлом, очищенным от изоляции



Плохо соединенная экранирующая оболочка снижает эффективность экранирования



**Рис. Q15 :** Конструктивное исполнение экранированных кабелей

## Конструктивное исполнение ЭМС - сети связи

Сети связи покрывают большие расстояния и соединяют оборудование, установленное в помещениях, в которых могут использоваться распределительные сети с разными схемами заземления. Кроме того, если различные площадки не объединены системой уравнивания потенциалов, то между различными устройствами, подключенными к этим сетям, могут возникать большие переходные токи и значительные разности потенциалов. Как отмечалось выше, это может происходить при коротких замыканиях и ударах молний. Максимальное выдерживаемое напряжение (между токоведущими проводниками и открытыми проводящими частями) плат, установленных в персональных компьютерах и программируемых контроллерах, обычно не превышает 500 В. В лучшем случае, оно может достигать 1,5 кВ. В сетях с системой заземления TN-S и относительно небольших коммуникационных сетях такой уровень выдерживаемого напряжения является приемлемым. Однако, во всех случаях рекомендуется защита от ударов молний.

Важным параметром является тип используемого кабеля связи. Он должен быть пригоден для используемого типа передачи. Для создания надежного канала связи необходимо учитывать следующие параметры:

- волновое сопротивление;
- тип кабеля (витые пары или другие типы кабелей);

- активное и емкостное сопротивление на единицу длины;
- затухание сигнала на единицу длины;
- используемые типы экранирования.

Кроме того, важно применять симметричные (дифференциальные) каналы передачи, поскольку они обеспечивают более высокие характеристики с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости.

В условиях интенсивных электромагнитных воздействий или больших сетей связи между электроустановками, не являющимися эквипотенциальными или являющимися лишь частично эквипотенциальными, при использовании систем заземления IT, TT или TN-C настоятельно рекомендуется применять оптоволоконные линии связи.

По соображениям безопасности оптоволоконный кабель не должен иметь металлических частей (из-за риска поражения электрическим током в случае, если этот кабель соединяет два участка с разными потенциалами).

## Конструктивное исполнение ЭМС - ограничители перенапряжений

### Соединения

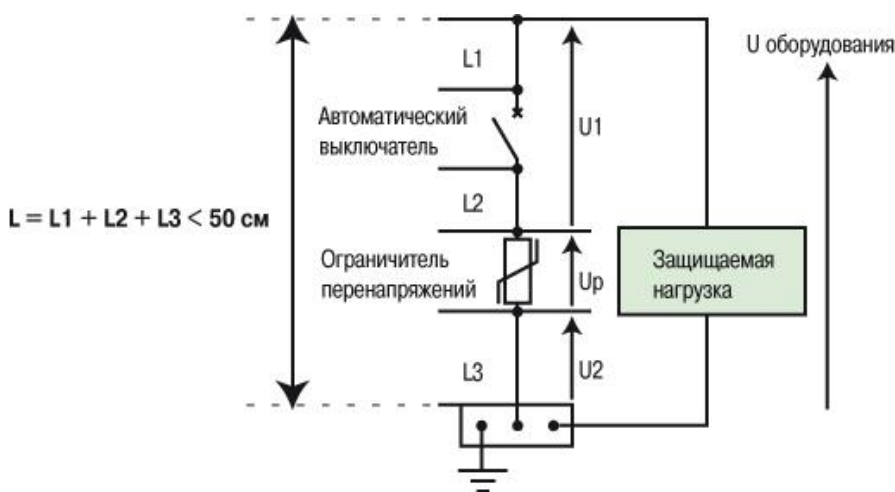
Они должны быть как можно короче. Фактически, одна из существенных характеристик защиты оборудования - это максимальный уровень напряжения на входе, который оборудование может выдержать. Для защиты оборудования должен быть выбран соответствующий ограничитель перенапряжений (см. **рис. Q16**). Общая длина соединений определяется по формуле

$L = L_1 + L_2 + L_3$ . Для высокочастотных токов полное сопротивление составляет примерно  $1 \text{ нГн/м}$

В соответствии с формулой 
$$\Delta U = L \frac{di}{dt}$$

для импульса  $8/20 \text{ мкс}$  и тока  $8 \text{ кА}$  получаем пиковое напряжение  $1000 \text{ В}$  на метр кабеля:

$$\Delta U = 1 \times 10^{-6} \times \frac{8 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 1000 \text{ В}$$



**Рис. Q16 :** Подключение ограничителя перенапряжений;  $L < 50 \text{ см}$

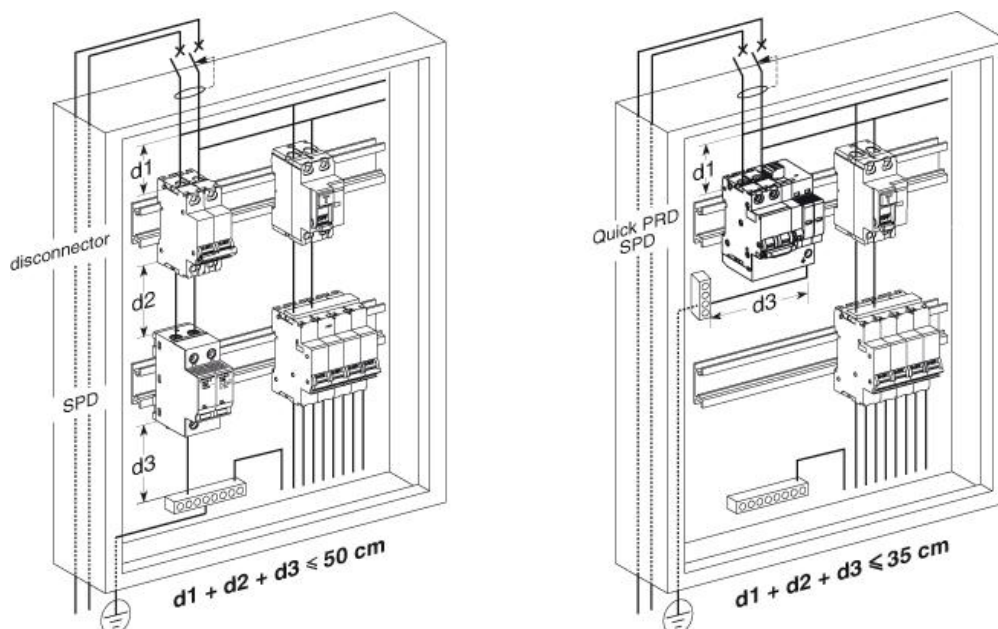
Следовательно, получаем:  $U \text{ оборудования} = U_p + U_1 + U_2$ .

Если  $L_1 + L_2 + L_3 = 50 \text{ см}$ , то это приведет к перенапряжению  $500 \text{ В}$  для тока  $8 \text{ кА}$ .



### Правило 1

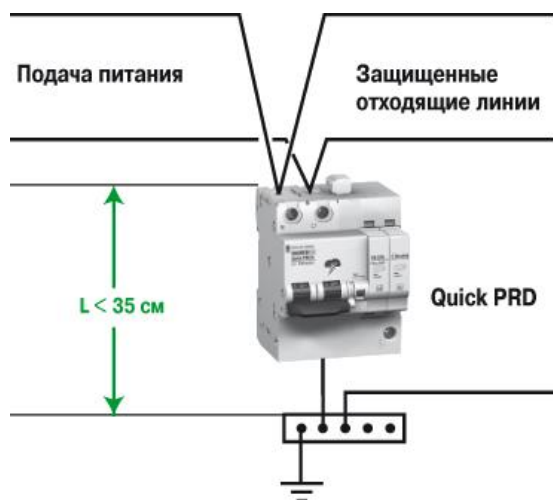
Первое правило, которое необходимо соблюдать, заключается в том, чтобы длина соединения между ограничителем перенапряжения и его автоматическим выключателем не превышала 50 см. Подключение ограничителя перенапряжений показано на **рис. Q17**.



**Рис. Q17** : Устройство защиты от перенапряжений с отдельным и встроенным автоматическим выключателем

### Правило 2

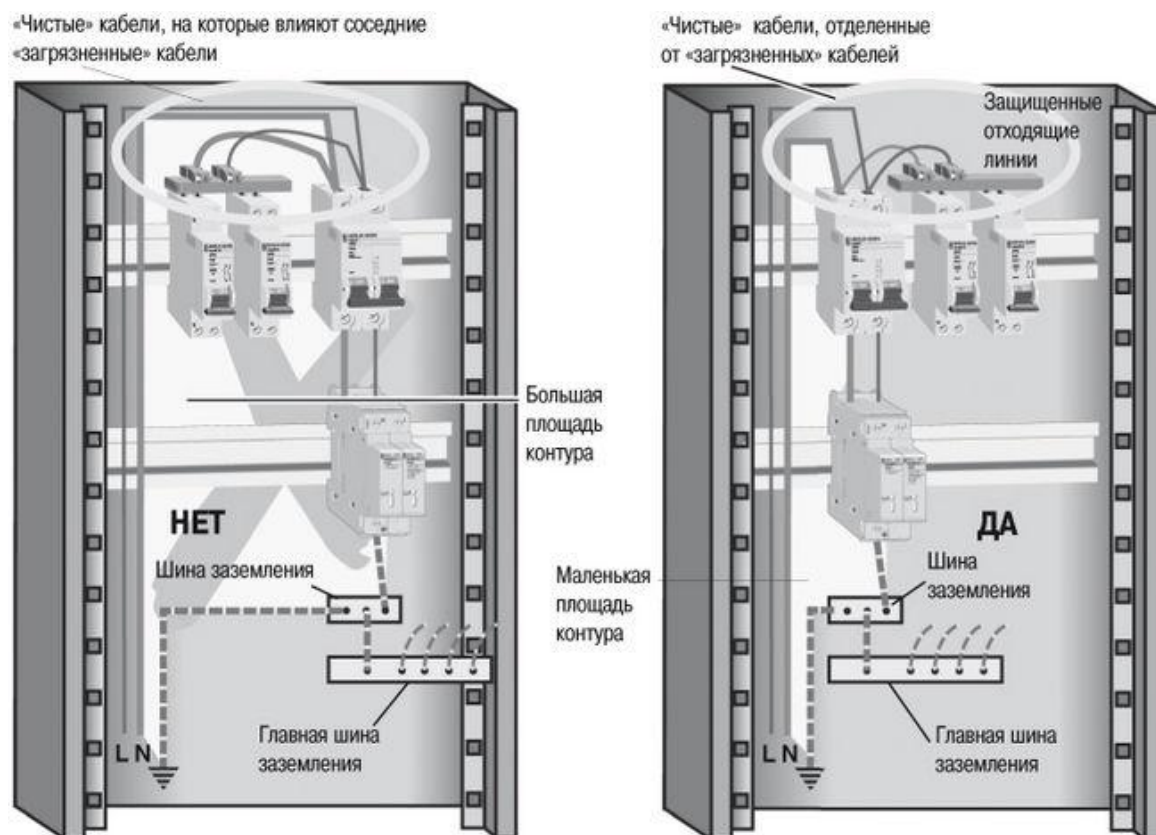
Отходящие линии, защищенные ограничителем перенапряжений, должны проходить справа от клемм ограничителя перенапряжений и автоматического выключателя (см. **рис. Q18**).



**Рис. Q18** : Подключение защищенных отходящих линий справа от клемм ограничителя перенапряжений

### Правило 3

Фазные проводники, а также нейтральный и заземляющий проводники входящей линии должны быть уложены вплотную друг к другу, чтобы уменьшить площадь контура (см. **рис. Q19**).



**Рис. Q19** : Пример кабельной разводки в шкафу (с учетом правил 2, 3, 4, 5)

### Правило 4

Входящие («загрязненные») проводники ограничителя перенапряжений должны быть удалены от отходящих («чистых») проводников, чтобы исключить влияние «загрязненных» линий на защищенные «чистые» линии (см. **рис. Q19**).

### Правило 5

Кабели должны быть уложены в одной плоскости вплотную к металлическому корпусу шкафа, чтобы минимизировать контуры, образуемые корпусом и таким образом улучшить экранирующий эффект корпуса. Если шкаф изготовлен из пластика, и в нем необходимо разместить особо чувствительное оборудование, то данный шкаф необходимо заменить на металлический.

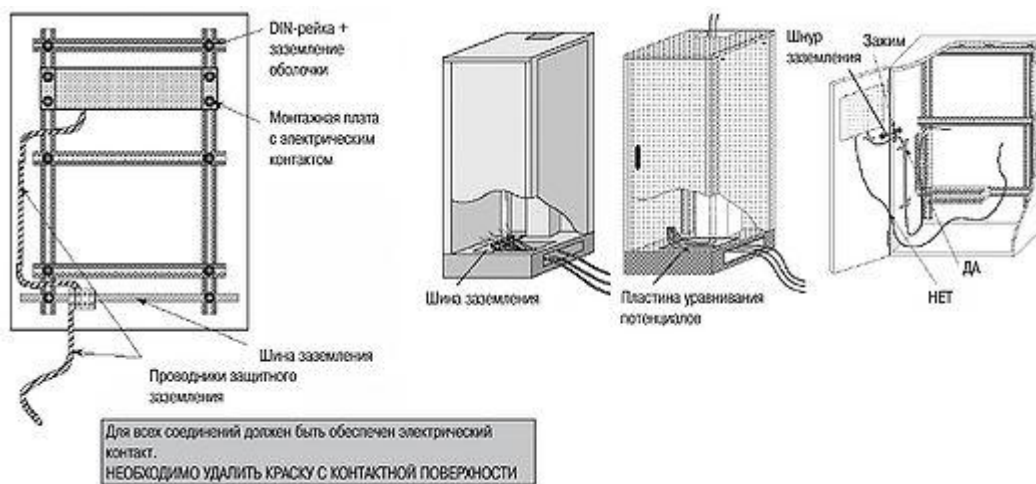
В любом случае, необходимо проверить, что металлические рамы и корпуса шкафов заземлены короткими проводниками.

Кроме того, если используются экранированные кабели, лишние отрезки («косички») должны быть удалены, поскольку они уменьшают эффективность экранирования.

## Конструктивное исполнение ЭМС - разводка кабелей в шкафах

Каждый шкаф должен обеспечиваться заземляющей шиной или заземленной металлической пластиной. Все экранированные кабели и внешние защитные проводники должны подсоединяться к этой точке. Любая металлическая пластина шкафа или DIN-рейка может использоваться в качестве точки заземления.

Пластмассовые шкафы не рекомендуются. В этом случае должна использоваться DIN-рейка в качестве точки заземления.



**Рис. Q20 :** Чувствительное оборудование должно подключаться через устройство защиты от импульсных перенапряжений

## Конструктивное исполнение ЭМС - стандарты

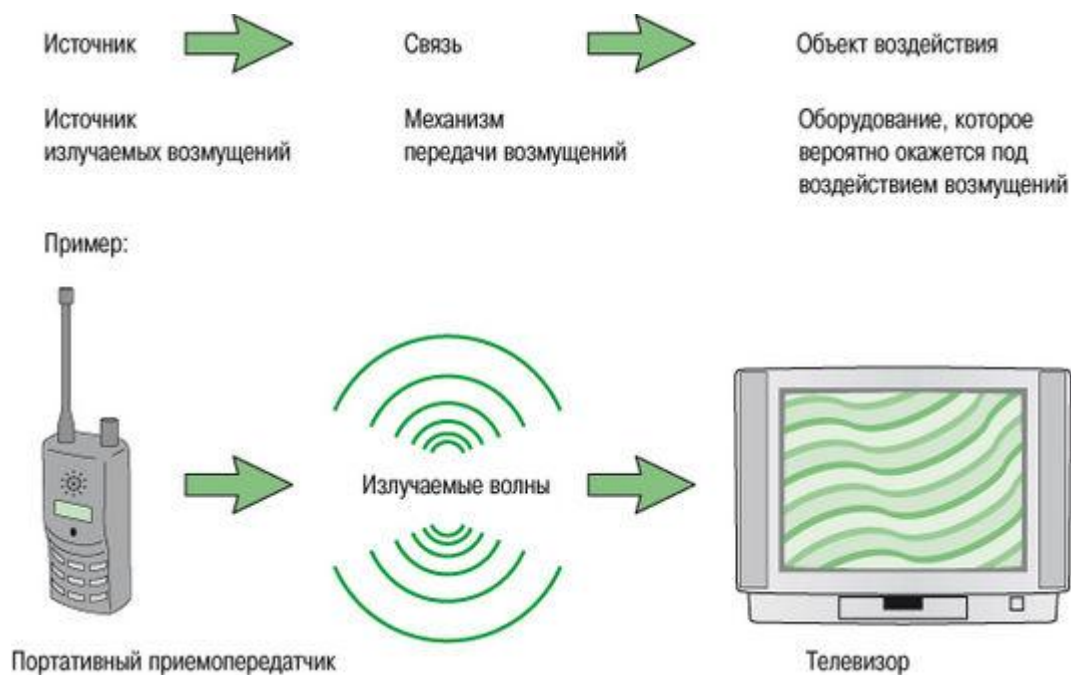
Следует указать нормы и рекомендации, которые должны быть учтены при инсталляции.

Ниже приводятся несколько документов, которые могут использоваться:

- EN 50174-1: Информационная техника – Монтаж кабелей. Часть 1: Спецификация и обеспечение качества
- EN 50174-2: Информационная техника – Монтаж кабелей. Часть 2: Планирование и методы монтажа в зданиях

## ЭМС - Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

Пример воздействия электромагнитных возмущений показан ниже на **рис. Q21**.



**Рис. Q21 : Воздействие электромагнитных возмущений**

Источниками возмущений являются:

- **Радиочастотные излучения:**

- беспроводные системы связи (радио- и телевизионные передатчики, портативные радиостанции, выключатели, радиотелефоны, устройства дистанционного управления);
- радиолокаторы.

- **Электрооборудование:**

- мощное промышленное оборудование (индукционные печи, сварочные машины, системы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей);
- офисное оборудование (компьютеры и электронные цепи, фотокопировальные машины, большие мониторы);
- разрядные лампы (неоновые, флуоресцентные, импульсные и др.);
- электромеханические устройства (реле, контакторы, электромагниты, устройства отключения тока).

- **Энергосистемы:**

- системы передачи и распределения электроэнергии;
- системы электрического транспорта.

- **Разряды молний.**

- **Электростатические разряды (ESD).**

Потенциальными объектами воздействия являются:

- **радио- и телевизионные приемники, радиолокаторы, системы радиосвязи;**

- аналоговые системы (сенсоры, системы измерений и сбора данных, усилители, мониторы);
- цифровые системы (компьютеры, системы передачи данных, периферийное оборудование).

Различными типами электромагнитной связи являются:

- гальваническая связь;
- емкостная связь;
- индуктивная связь;
- связь посредством излучения (между кабелями, между полем и кабелем, между антеннами).

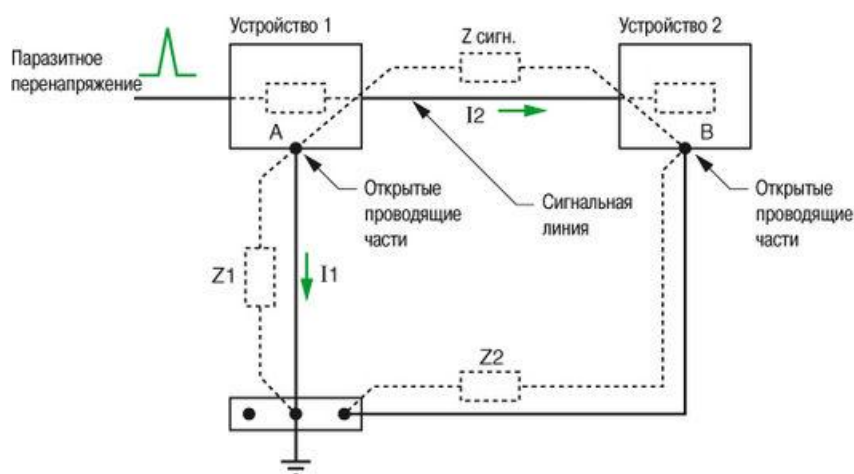
## Гальваническая (кондуктивная) связь

### Описание

Два или более устройств соединены между собой источником питания и коммуникационными кабелями (рис. Q22).

Когда по сопротивлениям цепей протекают внешние токи (токи молний, токи короткого замыкания, возмущения), между точками А и В, которые предположительно являются эквипотенциальными, возникает нежелательное напряжение. Это паразитное напряжение может создать помехи для слаботочных цепей или цепей передачи данных.

Все кабели, включая защитные проводники, имеют сопротивление (импеданс), особенно на высоких частотах.



Открытые проводящие части устройств 1 и 2 присоединены к общей клемме заземления через сопротивления  $Z_1$  и  $Z_2$ .

Ток, вызванный паразитным перенапряжением, уходит на землю через  $Z_1$ . Потенциал устройства 1 возрастает до величины  $Z_1 \times I_1$ .

Разность потенциалов с устройством 2 (начальный потенциал которого равен нулю) приводит к появлению тока  $I_2$ .

$$Z_1 \times I_1 = (Z_{\text{сигн.}} + Z_2) I_2 \Rightarrow I_2 / I_1 = Z_1 / (Z_{\text{сигн.}} + Z_2)$$

Ток  $I_2$ , протекающий по сигнальной линии, создает помехи для устройства 2.

**Рис. Q22 :** Описание гальванической (кондуктивной) связи

## Примеры

(рис. Q23)

- Устройства, соединенные общим заземляющим проводником (например, PEN или PE) и подвергающиеся воздействию кратковременных или интенсивных изменений тока (ток повреждения, удар молнии, ток короткого замыкания, изменения нагрузки, цепи отключения, гармоники тока, батареи конденсаторов для компенсации реактивной мощности и др.).
- Общая обратная цепь для нескольких источников электрического напряжения.

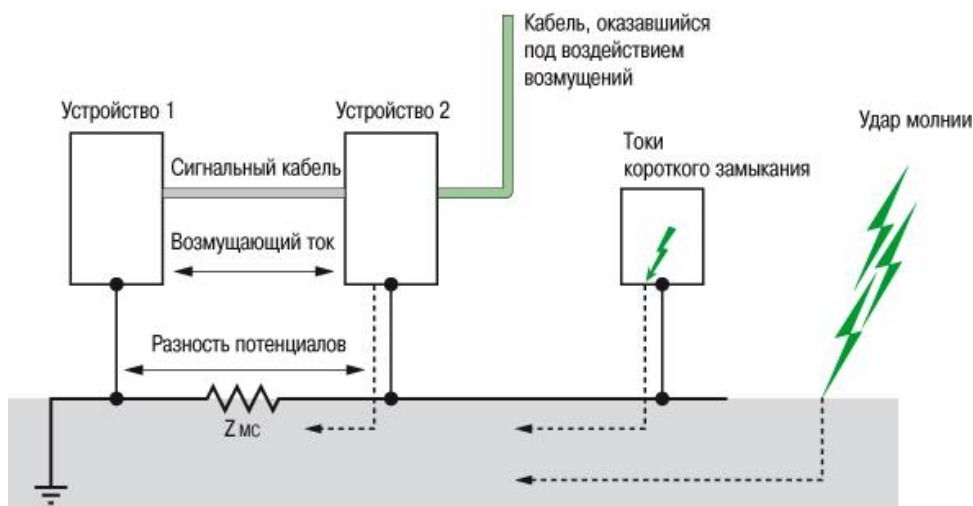


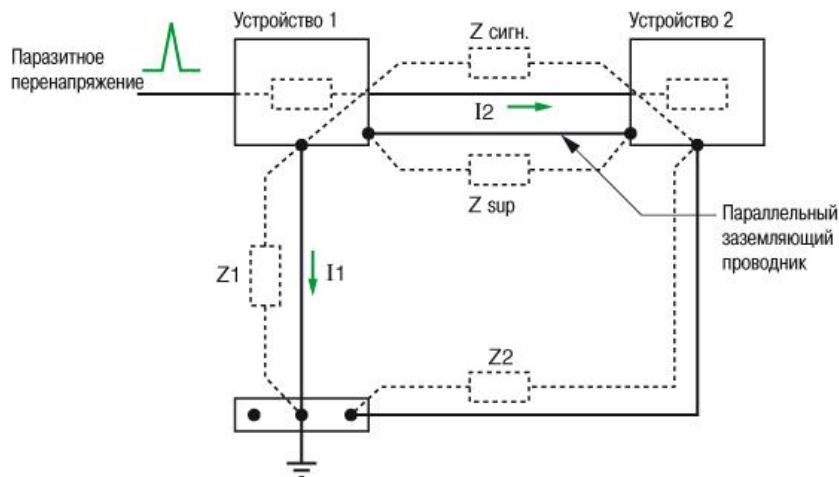
Рис. Q23 : Пример гальванической связи

## Меры противодействия

(рис. Q24)

Чтобы уменьшить влияние помех, передающихся по гальваническим связям (кондуктивным путем) нужно:

- уменьшать сопротивления:
  - объединить заземляющие проводники системы уравнивания потенциалов в сетку;
  - использовать короткие кабели или плоские жгуты, которые при равных сечениях имеют меньшее сопротивление по сравнению с кабелями круглого сечения;
  - установить систему уравнивания потенциалов между устройствами.
- снизить уровень возмущающих токов посредством фильтрации гармоник и использования дросселей для ограничения токов замыкания на землю.



Если сопротивление параллельного заземляющего проводника ( $Z_{\text{sup}}$ ) является очень низким по сравнению с  $Z_{\text{сигн.}}$ , то в основном ток пойдет через этот проводник, а не через сигнальную линию, как в предыдущем случае. Разность потенциалов между устройствами 1 и 2 становится очень низкой, и уровень помех снижается до допустимого.

**Рис. Q24 :** Меры по уменьшению величины влияния кондуктивных помех

## Емкостная связь

### Описание

Уровень возмущений зависит от скорости изменений напряжения ( $dv/dt$ ) и величины ёмкости связи между источником возмущений и объектом воздействия.

Емкостная связь усиливается:

- с частотой;
- с уменьшением расстояния между источником возмущений и объектом воздействия и увеличением длины параллельных кабелей;
- с высотой установки кабелей относительно заземленной поверхности;
- с входным сопротивлением цепи, подвергшейся воздействию возмущений (цепи с большим входным сопротивлением более уязвимы);
- с диэлектрической проницаемостью изоляции кабеля, подвергшегося воздействию возмущений (особенно для сильносвязанных пар).

На **рис. Q25** показаны результаты емкостной связи между двумя кабелями.



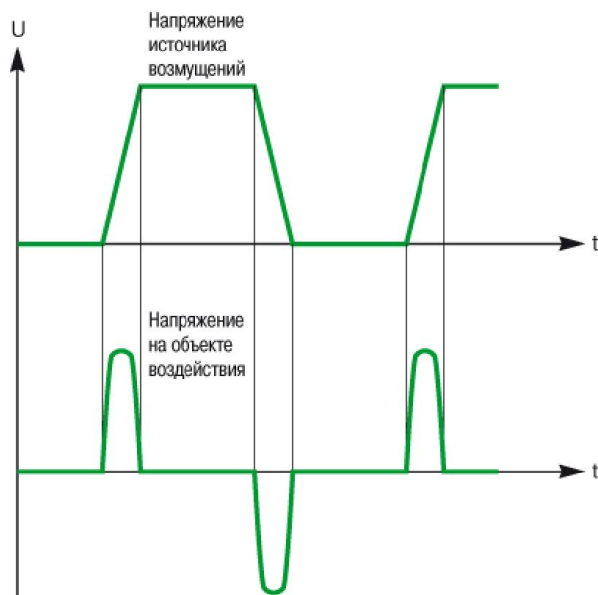


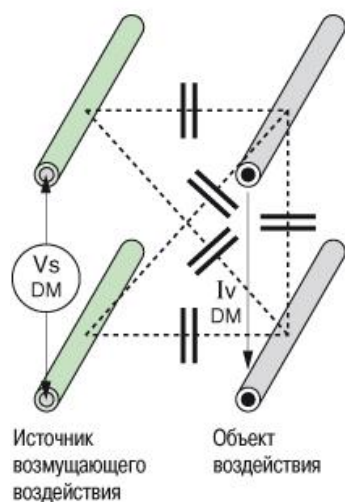
Рис. Q25 : Типовой результат емкостной связи (емкостных наводок)

### Примеры

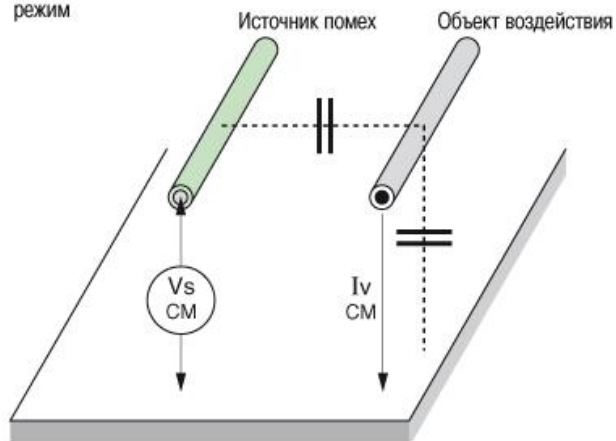
(рис. Q26)

- Близкорасположенные кабели, подверженные быстрым изменениям напряжения ( $dv/dt$ ).
- Включение флуоресцентных ламп.
- Часто включаемые источники питания (фотокопировальные машины и др.).
- Емкостная связь между первичными и вторичными обмотками трансформаторов.
- Наводки между кабелями.

Симметричный (дифференциальный) режим



Несимметричный (синфазный) режим



$V_s$  DM: источник возмущающего напряжения (дифференциальный режим)

$I_v$  DM: возмущающий ток со стороны объекта воздействия (дифференциальный режим)

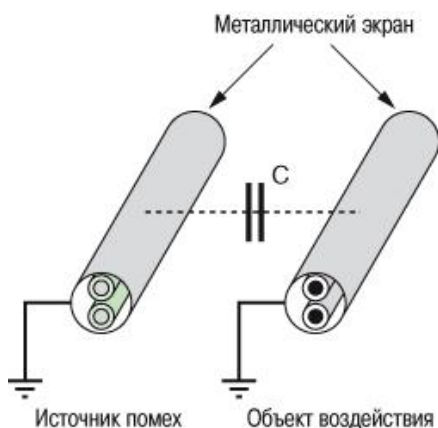
$V_s$  CM: источник возмущающего напряжения (синфазный режим)

$I_v$  CM: возмущающий ток со стороны объекта воздействия (синфазный режим)

Рис. Q26 : Пример емкостной связи

(рис. Q27)

- Максимальное ограничение длины параллельно проложенных кабелей-источников возмущений и кабелей-объектов воздействия.
- Увеличение расстояния между источником возмущений и объектом воздействия.
- При использовании двухпроводных линий прокладывать провода как можно ближе друг к другу.
- Размещение параллельного заземляющего проводника (РЕС) между источником возмущений и объектом воздействия.
- Использование двух- или четырехжильных кабелей, а не отдельных проводников.
- Использование симметричной передачи сигналов по правильно смонтированным симметричным системам проводников.
- Экранирование кабелей-источников возмущений, кабелей-объектов воздействия или и тех и других (экраны должны быть соединены).
- Снижение величины  $dv/dt$  источника возмущений путем увеличения, по возможности, времени нарастания сигнала.



**Рис. Q27 :** Использование экранов кабелей с перфорацией снижает емкостную связь

## Индуктивная связь

---

### Описание

---

Источник помех и объект воздействия связаны магнитным полем. Уровень возмущений зависит от скорости изменения тока ( $di/dt$ ) и величины взаимной индуктивности.

Индуктивная связь усиливается:

- с частотой;
- с уменьшением расстояния между источником помех и объектом воздействия и увеличением длины параллельных кабелей;

- с увеличением высоты установки проводников относительно заземленной поверхности;
- с увеличением импеданса нагрузки цепи, генерирующей возмущения.

## Примеры

---

(рис. Q28)

- Близко расположенные кабели, подверженные быстрым изменениям тока ( $di/dt$ ).
- Короткие замыкания.
- Токи повреждения.
- Удары молний.
- Статические (полупроводниковые) устройства управления обмотками статора двигателей.
- Сварочные машины.
- Индукторы.

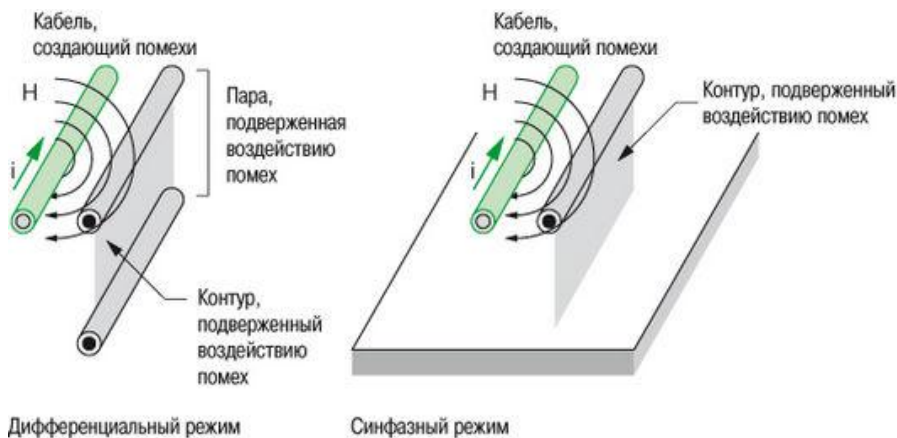


Рис. Q28 : Пример индуктивной связи

## Меры противодействия

---

- Максимальное ограничение длины параллельно проложенных кабелей-источников возмущений и кабелей-объектов воздействия.
- Увеличение расстояния между источником возмущений и объектом воздействия.
- Прокладка проводов как можно ближе друг к другу при использовании двухпроводных линий.
- Использование многожильных или соприкасающихся одножильных кабелей, предпочтительно с треугольной схемой укладки.
- Размещение параллельного заземляющего проводника (ПЕЗ) между источником возмущений и объектом воздействия.
- Использование симметричных систем передачи по должным образом смонтированным симметричным системам электропроводки.
- Экранирование кабелей-источников возмущений, кабелей-объектов воздействия или и тех и других (экраны должны быть соединены).

- снижение величины  $dv/dt$  источника возмущений путем увеличения, по возможности, времени нарастания сигнала (с помощью последовательно включенных резисторов или РТС-резисторов на кабеле-источнике помех, ферритовых колец на кабеле-источнике помех и/или кабеле-объекте воздействия).

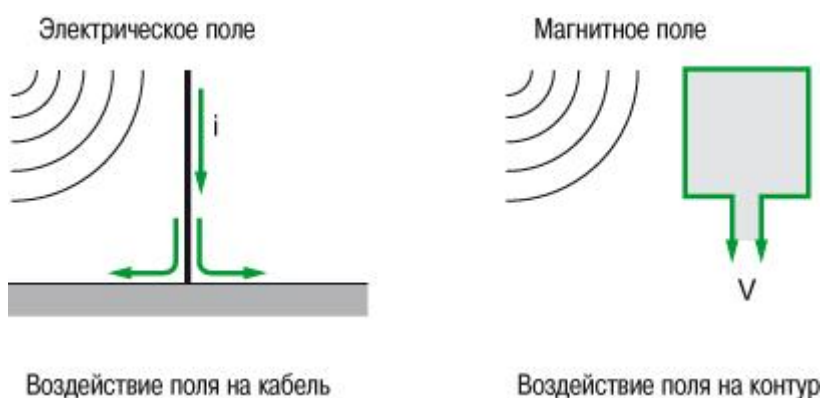
## Связь посредством излучения

### Описание

Источник возмущений и объект воздействия связаны посредством среды, например, воздуха. Уровень возмущений зависит от мощности источника излучений и эффективности излучающей и принимающей антенн.

Электромагнитное поле состоит из магнитного и электрического полей. При этом можно отдельно анализировать электрическую и магнитную составляющие.

В системах электропроводки связь электрического поля (E) и магнитного поля (H) осуществляется посредством проводов и контуров (рис. Q29).



**Рис. Q29 :** Различные виды воздействия поля

Когда кабель подвергается воздействию переменного электрического поля, в нем генерируется ток. Это явление называется электрической наводкой в кабеле (связь «поле-проводник»).

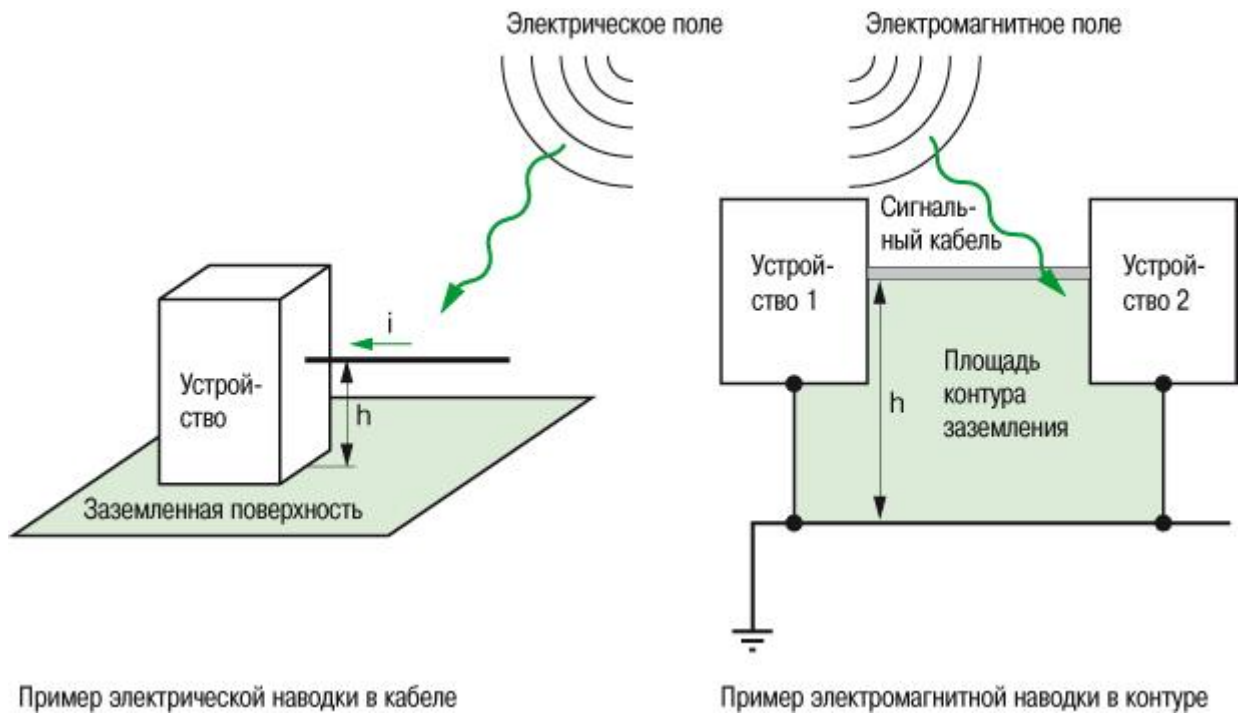
Аналогичным образом, когда переменный магнитный поток пересекает контур, он наводит ЭДС, которая генерирует разность потенциалов между двумя концами этого контура. Это явление называется электромагнитной наводкой в контуре.

### Примеры

(рис. Q30)

- Радиопередатчики (портативные приемопередатчики, радио- и телевизионные передатчики, мобильные телефоны).
- Радиолокаторы.

- Системы зажигания автомобилей.
- Машины для дуговой сварки.
- Индукционные печи.
- Устройства коммутации силовых цепей.
- Электростатические разряды.
- Удары молний.



**Рис. Q30 :** Примеры воздействий излучения

### Меры противодействия

Чтобы свести к минимуму последствия электромагнитных наводок, требуются меры, перечисленные ниже.

#### Для снижения наводок в кабеле:

- уменьшайте антенный эффект объекта воздействия, уменьшая высоту (h) прокладки кабеля относительно заземленной поверхности;
- помещайте кабель в непрерывный соединенный металлический кабелепровод (трубу, кабель-канал, короб);
- используйте экранированные кабели, которые надлежащим образом установлены и соединены;
- используйте параллельные заземляющие проводники;
- устанавливайте на кабеле-объекте воздействия фильтры или ферритовые кольца.

### Для снижения наводок в контуре:

- уменьшайте площадь поверхности контура-объекта воздействия, уменьшая высоту установки ( $h$ ) и длину кабеля. Используйте решения, предусмотренные для снижения электромагнитных наводок в кабеле. Используйте принцип клетки Фарадея.

Электромагнитные наводки можно устранить, используя принцип клетки Фарадея. Возможным решением является экранированный кабель, при этом оба конца экранирующей оболочки должны быть присоединены к металлическому корпусу устройства. Открытые проводящие части должны быть соединены для повышения эффективности на высоких частотах.

Электромагнитные наводки снижаются с увеличением расстояний и при использовании симметричных каналов передачи.

## ЭМС для различных схем распределения электроэнергии

---

Чтобы обеспечить электробезопасность людей и сохранность имущества, необходимо правильно выбрать систему заземления электрической установки. При этом необходимо учитывать влияние различных элементов электроустановки с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости. На **рис. Q1** приведены сводные основные характеристики.

Европейские стандарты (EN 50174-2, параграф 6.4 и EN 50310, параграф 6.3) рекомендуют применять систему заземления TN -S, которая создает наименьшее количество проблем с обеспечением электромагнитной совместимости для электроустановок, содержащих оборудование для обработки информации и телекоммуникационное оборудование.