



Барьеры искробезопасности: шунт-диодные или с гальванической развязкой? Критерии для обоснованного выбора.

Введение

Дискуссия относительно преимуществ шунт-диодных барьеров или барьеров с гальванической развязкой продолжается в течение многих лет. Большинство материалов по этой тематике имело цель доказать превосходство использования одной технологии над другой. Цель этой статьи — примерить позиции оппонентов и дать сбалансированные аргументы, которые позволят пользователю самостоятельно сделать обоснованный выбор для каждого специфического применения. Статья заканчивается простой таблицей расчета для случаев, когда выбор не очевиден.

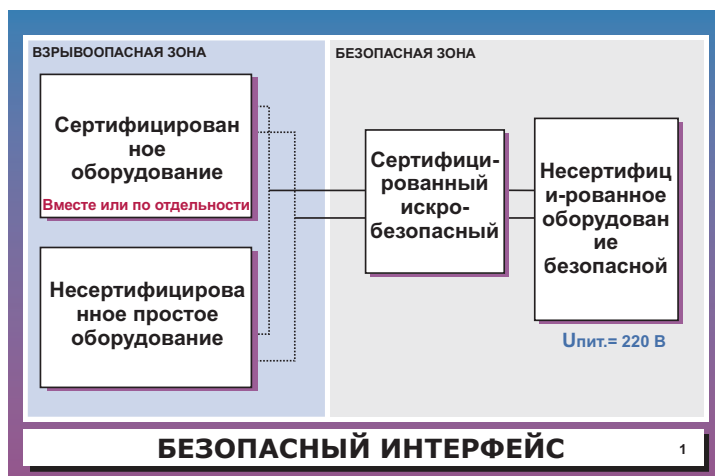
Данный материал накапливался и развивался значительное время, однако маловероятно, что он полностью охватывает все аспекты проблемы. Со временем что-то может быть подвергнуто ревизии или дополнено, так как обе технологии развиваются. Если Вы имеете любые комментарии относительно содержания или улучшений в пределах рассматриваемой темы, авторы хотели бы получить их. Это лучший способ сделать материал более емким и, следовательно, более ценным.



Основное назначение искробезопасного интерфейса - устранить потребность специальной сертификации оборудования безопасной зоны. Оборудование, устанавливаемое в безопасной зоне, обычно сложно, многофункционально и энергоемко. При повреждении это оборудование может стать источником энергии, недопустимой для опасной зоны.

Идеальный интерфейс должен в нормальном режиме пропускать рабочие сигналы (с допустимой для опасной зоны энергетикой) с минимальными потерями. В случае аварии оборудования безопасной зоны интерфейс должен изменить свои характеристики и ограничить уровень энергии, передаваемой в опасную зону до безопасного уровня.

Искробезопасные барьеры на шунтирующих диодах были разработаны в конце 1950-х для контроллеров управления технологическими процессами в химической промышленности и считаются старейшим из рассматриваемых методов искрозащиты. Однако, изолирующие интерфейсы для реле входных устройств коммутаторов, имевшие гальваническую развязку, были известны за много лет до этого, а аналоговые интерфейсы с гальванической развязкой были доступны уже в 1953 году. Бурное развитие обеих технологий в последние годы никак не повлияло на их фундаментальные основы.



Шунт-диодные барьеры		Барьеры с гальванической развязкой	
Концепция	1958 Redding	Релейные	
Одобрены	1961 Gresham Kent	Аналоговые	Telemecanique 1950's Pepperl & Fuchs
			Evershed & Vignoles 1953 MTL 1974

Рис. 3 иллюстрирует принцип построения шунт-диодного искробезопасного барьера, ограничивающего электрический ток и напряжение на элементах опасной зоны. Стабилитроны (диоды Зеннера) ограничивают напряжение, и электрический ток. Защитный резистор (CLR) ограничивает электрический ток в элементах взрывоопасной зоны. Плавкая перемычка предотвращает передачу энергии в опасную зону в случае повреждения оборудования безопасной зоны.

Искробезопасный барьер с гальванической развязкой (изолятор), иллюстрированный на Рис. 4, разрывает любое прямое (гальваническое) соединение между электрическими цепями взрывобезопасной и взрывоопасной зон за счет использования слоя изоляционного материала между ними.

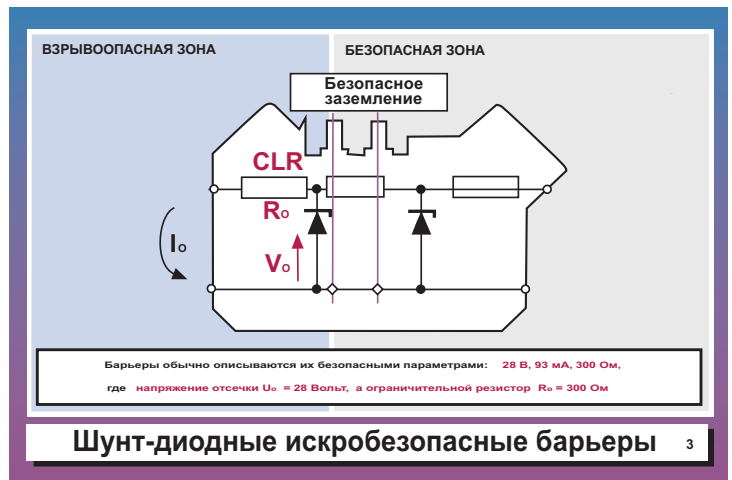
Передача информации производится обычно через один из видов трансформаторов: оптрон, трансформатор или реле. Окончательно взрывобезопасность достигается за счет использования диодно-резистивной схемы, подобной шунт-диодному барьеру.

Так как цепь опасной зоны гальванически не связана с цепью безопасной зоны, блокирование чрезмерной энергии в барьере с гальванической развязкой обычно расценивают как эффективное и фундаментальное (Рис. 5). Практически, ноль измерительного прибора обычно связан с заземленной нейтралью трансформатора энергопитания для предотвращения помех и сообщений безопасности. Таким образом при повреждении ток замыкается на нейтраль, вызывая разрушение плавкого предохранителя, устраняющее короткое замыкание за относительно короткое время.

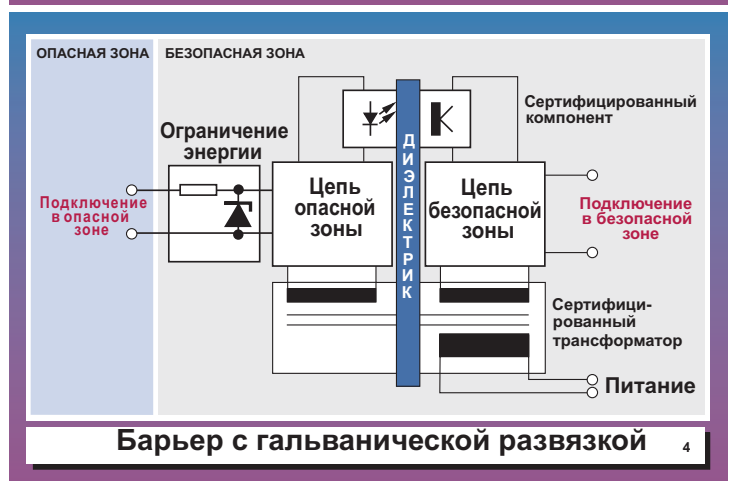
Аналогичная ситуация с коротким замыканием в безопасной зоне при использовании шунт-диодного барьера иллюстрирована на Рис. 6, когда при повреждении ток замыкается на заземленную нейтраль в пределах безопасной зоны почти таким же способом.

Важное различие в том, что падение напряжения между точкой заземления шунт-диодного барьера и заземленной нейтралью трансформатора (между точками X1 и X) в этом случае не должно превышать условий для опасной зоны и быть минимально (меньше 10 В). В следствие этого шина заземления шунт-диодного барьера должна иметь низкое сопротивление и дублироваться (в соответствии с ГОСТ Р 51330.10-99), что является критическим условием обеспечения взрывобезопасности.

Рис. 3 и 4

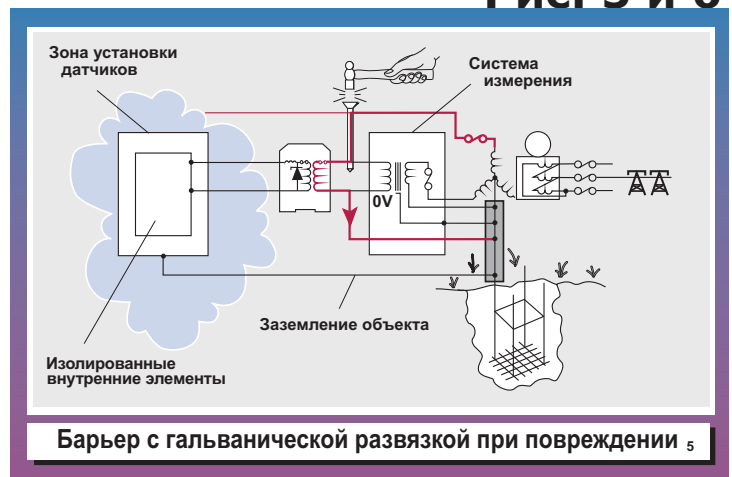


Шунт-диодные искробезопасные барьеры 3

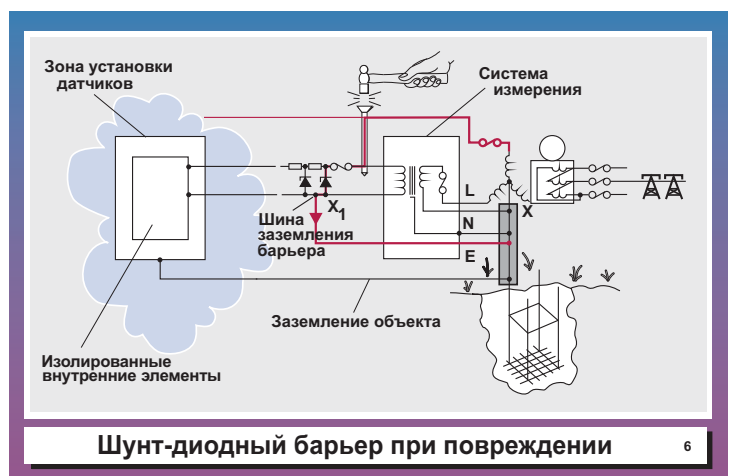


Барьер с гальванической развязкой 4

Рис. 5 и 6



Барьер с гальванической развязкой при повреждении 5



Шунт-диодный барьер при повреждении 6

Рис. 7 представляет собой относительное соотношение достоинств барьеров с гальванической развязкой и шунт-диодных барьеров.

Значения весовых коэффициентов для каждого из элементов представленного списка должны выбираться в зависимости от специфики конкретного оборудования и задачи.

Продолжение статьи раскрывает пункты этого списка сравнения так, что бы каждый из перечисленных на Рис.7 пунктов мог быть корректно оценен.

Шунт-диодные барьеры	Барьеры с гальванической развязкой (изоляторы)
Простота изделий (большое время безотказной работы)	Сложность изделий (среднее время безотказной работы)
Универсальность	Специализированное назначение для каждого устройства
Низкие потери	Высокое энергопотребление (~2 ВА)
Не требует отдельного источника питания	Необходим отдельный источник питания
Ограниченный диапазон рабочих напряжений	Более широкий диапазон рабочих напряжений
Ограниченное напряжение, доступное в опасной зоне	Более высокое напряжение (мощность), доступные в опасной и в безопасной зонах
Более высокая плотность монтажа	Менее высокая плотность монтажа
Необходимость фундаментального безопасного заземления барьеров	Менее строгие требования к заземлению
Необходимость использования только низковольтного оборудования, обусловленное гальванической связью между опасной и безопасной зонами.	Отсутствие гальванической связи
Оборудование опасной зоны должно быть изолировано от земли	Оборудование опасной зоны может иметь контакт с землей
Точность и линейность выше (0,1 %)	Менее высокая точность и линейность (0,25 %)
Стоимость ниже	Увеличенная стоимость
Хорошая частотный диапазон (до 100KHz)	Ограниченный частотный диапазон
Не поддается восстановлению после аварии	Может быть восстановлен после аварии
Уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям.	Менее уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям.
Большая практика эксплуатации во всем мире	Незаменимы в кораблестроении и для отдельных специальных применений.
Соотношение достоинств барьеров	

В общем случае шунт-диодные барьеры более универсальны чем изоляторы. Например, барьер MTL787S, используемый с датчиками 4...20 мА (Рис. 16) идентичен барьеру для подключения коммутатора Рис. 9.

Если гибкость шунт-диодных барьеров используется для нового подключения, желателен анализ, принимающий во внимание возможные резистивные потери и токи утечки, как показано на Рис. 16.

Всякий раз, когда планируется ранее неиспытанная комбинация искробезопасного интерфейса и оборудования, желательно опробовать экспериментальную взаимосвязь в лабораторных условиях с использованием предоставляемых опытных образцов.

Положительные результаты испытаний увеличивают вероятность успешной окончательной инсталляции.

Рис. 12 показывает барьер с гальванической развязкой для использования с обычными датчиками 4...20мА. Барьер с гальванической развязкой разработан специально для использования с конкретным типом датчиков и не может быть использован для другого применения.

Шунт-диодные барьеры

Универсальность

Барьеры с гальванической развязкой

Специальное назначение

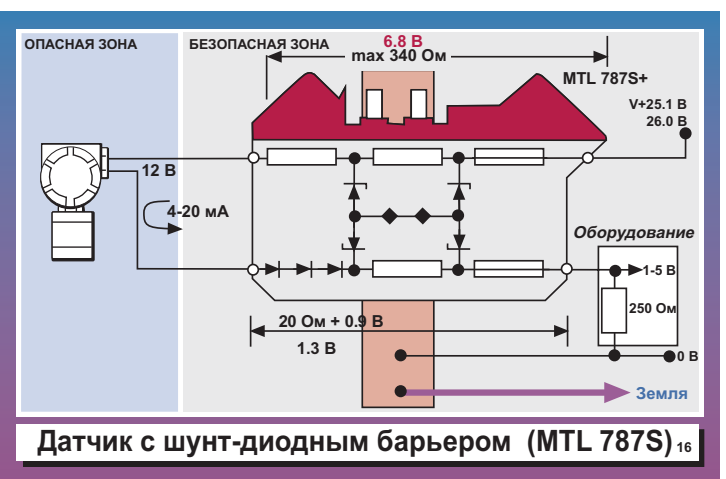
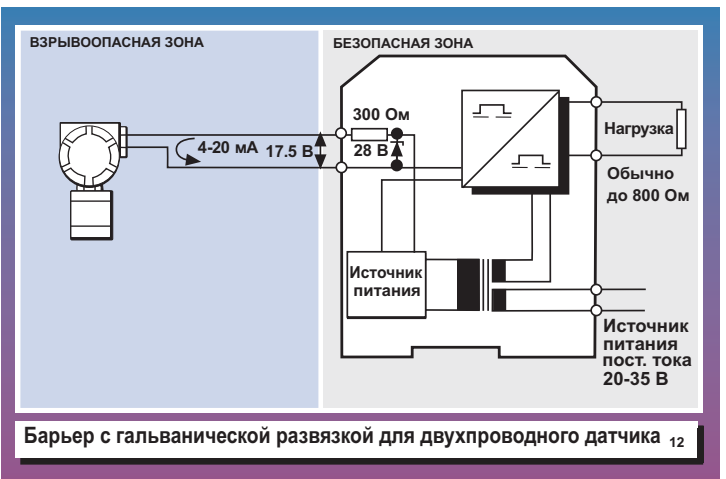
Барьеры с гальванической развязкой разрабатываются под конкретную задачу

Шунт-диодные барьеры могут использоваться для различных задач, но требуют проведения предварительных испытаний

Предварительная проверка желательна в обоих случаях

Универсальность

11



Барьеры с гальванической развязкой требуют дополнительного электропитания, которое занимает дополнительное монтажное пространство, выделяет тепло и имеет определенную дополнительную стоимость.

Использование принудительного воздушного охлаждения может стать необходимо, если изоляторы близко смонтированы в корпусе. Нужно помнить, что и для шунт-диодных барьеров и для барьеров с гальванической развязкой существует разрешенный максимум температуры окружающего воздуха в шкафу. Это же требование может предъявляться и к другому смежному электрооборудованию.

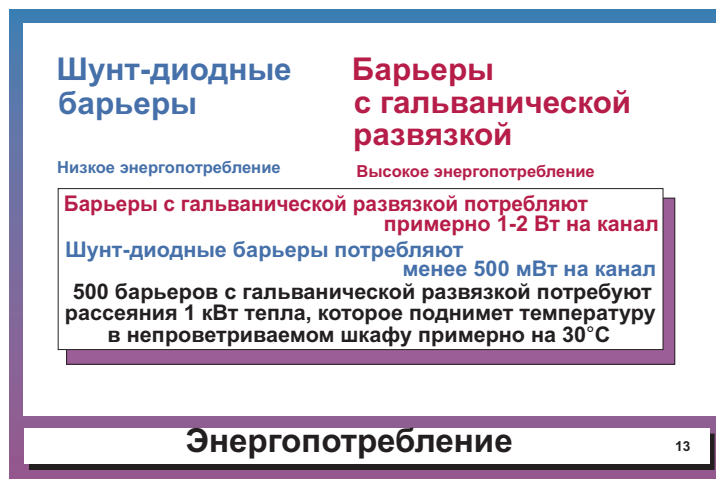
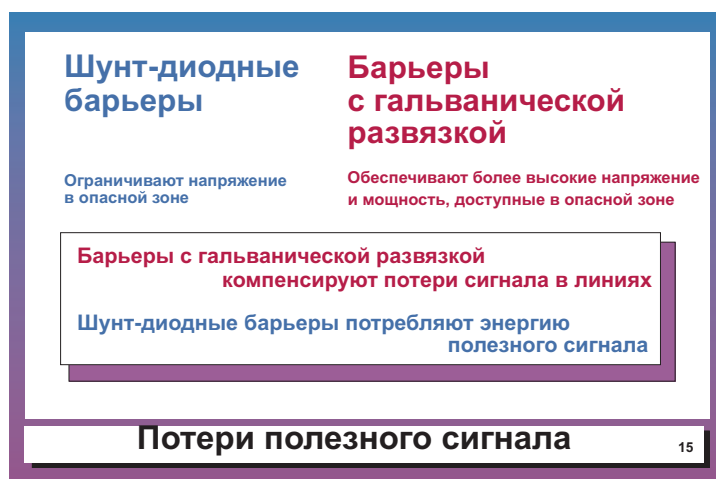
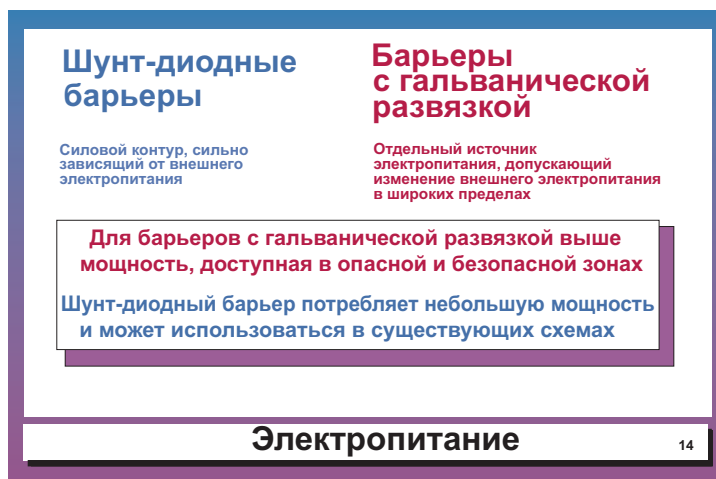


Рис. 14 и 15

Шунт-диодные барьеры могут иметь защиту от перенапряжения, чтобы противодействовать большим изменениям напряжения питания, но эта защита поглощает энергию и вносит дополнительные потери.

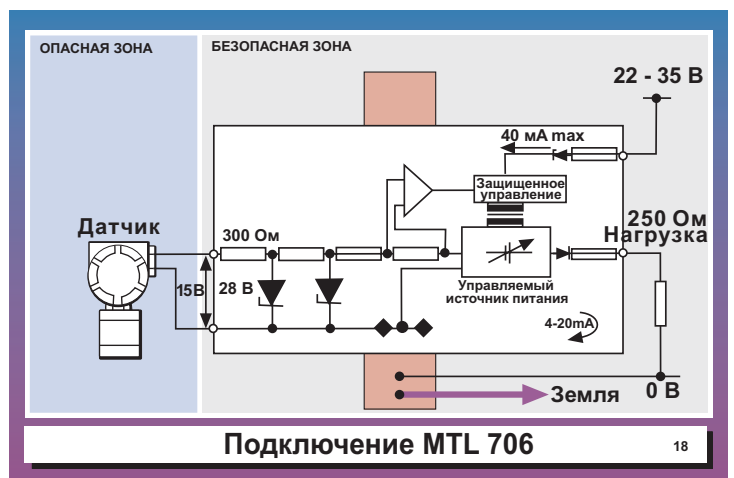
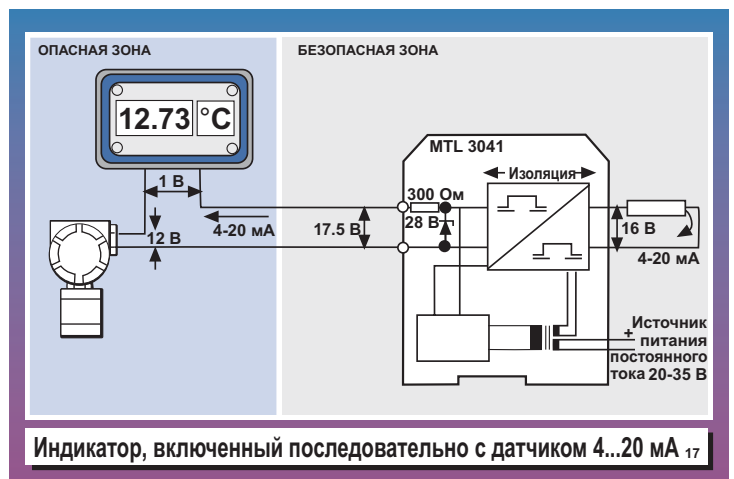
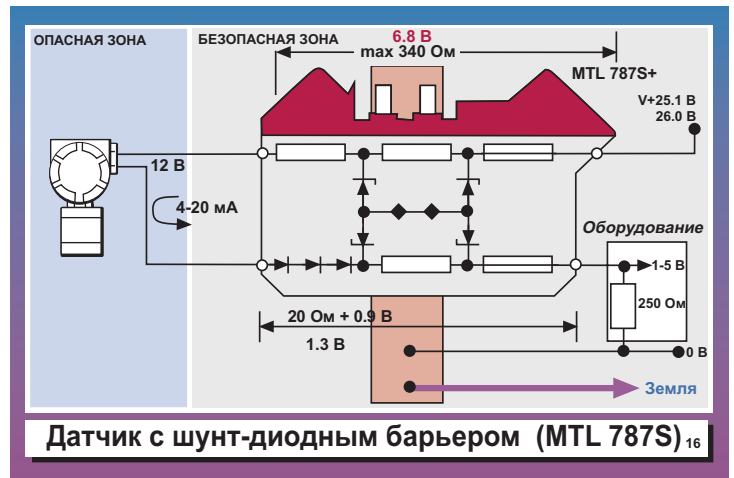
Барьеры ограничивают напряжения, доступные в опасной зоне.



Барьеры ограничивают напряжения, доступные в опасной зоне.

Обычная комбинация датчика и шунт-диодного барьера Рис. 16 имеет максимальное падение напряжения линии 0,9 В.

Для сравнения MTL3041, схема которого представлена на Рис. 17, имеет 5.5 В доступный запас напряжения в линии, который позволяет использование последовательно включенного местного индикатора, как показано в схеме.



Количество интерфейсов, которые могут быть установлены в шкафу, в значительной степени определяются емкостью кабельной сети и плотностью монтажа, которая может быть достигнута.

Сам монтаж с учетом перекрещивания проводов так же требует значительного пространства.

Указанные на Рис.20 количества не предел для специально разработанных стоек, и более высокая плотность может быть достигнута за счет уплотнения и перегрева.

Однако, представленные числа демонстрируют более высокую плотность для шунт-диодных барьеров.

Использование мультиплексоров может эффективно увеличить количество каналов в шкафу, но при этом придется пожертвовать надежностью единичных контуров и должна быть произведена оценка допустимости такого подхода при проектировании.

Шунт-диодные барьеры

Высока плотность монтажа

Барьеры с гальванической развязкой

Плотность монтажа ниже

Физические размеры барьеров с гальванической развязкой больше, чем у шунт-диодных барьеров необходимо дополнительное оборудование

Для обеспечения некоторых функций шунт-диодным барьерам

На практике размер монтажного шкафа в значительной мере зависит от объема подводимого кабеля

Традиционно британские барьеры монтировались на DIN-рейку, что теперь стало практически стандартом

Для обоих типов барьеров доступна возможность установки объединительной платы

Многоканальные интерфейсы экономят место в ущерб надежности

Плотность монтажа

19

В монтажном шкафу

600 мм x 600 мм x 2100 мм (без кросса)

можно разместить:

MTL 700 (шунт-диодные) - 400 шт.

MTL 7000 (шунт-диодные) - 650 шт.

MTL 4000 (с гальванической развязкой) - 256 шт. с учетом блоков питания

Плотность монтажа

20

Обычно делается много акцента на требования правильного соединения шунт-диодных барьеров к шине заземления.

Однако иллюстрация требований к заземлению при обычном подключении датчика к компьютеру (Рис. 22) и небольшое изменение для случая опасной зоны (Рис. 23), показывает отсутствие каких-либо дополнительных трудностей.

Чтобы избежать существенных проблем в пределах опасной зоны, заземление шунт-диодных барьеров должно иметь низкое сопротивление (а так же дублироваться в соответствии с ГОСТ Р 51330.10-99) и быть высоконадежным.

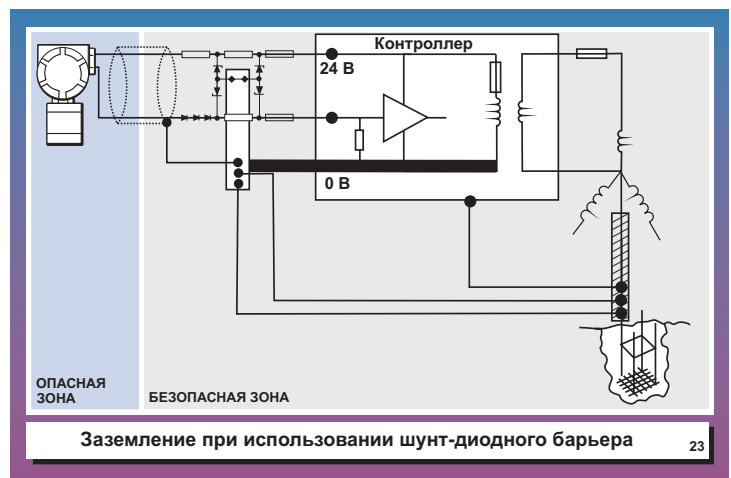
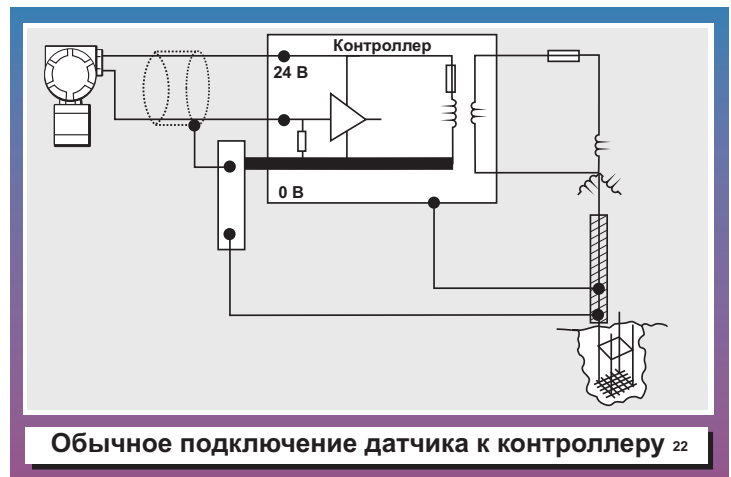
Возможность и необходимость монтажа дублирующих шин заземления также нужно рассматривать, т.к. надежность заземления существенна при всех типах монтажа.

Устройство заземления, иллюстрированное на Рис. 24 идентично для неопасного устройства, но заземление должно удовлетворять требованиям безопасности.

Полное устройство заземления, показанное на Рис. 25 подчеркивает, что устройство заземления измерительного прибора - только часть полного устройства системы заземления объекта.

Требования к заземлению только незначительно отличаются в зависимости от того, используются ли шунт-диодные барьеры или с гальванической развязкой.

<h3>Шунт-диодные барьеры</h3> <p>Требуют обязательного безопасного заземления</p> <p>При использовании шунт-диодных барьеров оборудование опасной зоны должно быть изолировано от земли.</p>	<h3>Барьеры с гальванической развязкой</h3> <p>Требования к заземлению ниже</p> <p>При использовании барьеров с гальванической развязкой оборудование опасной зоны может иметь контакт с землей</p>
<h2>Требования к заземлению</h2>	
21	

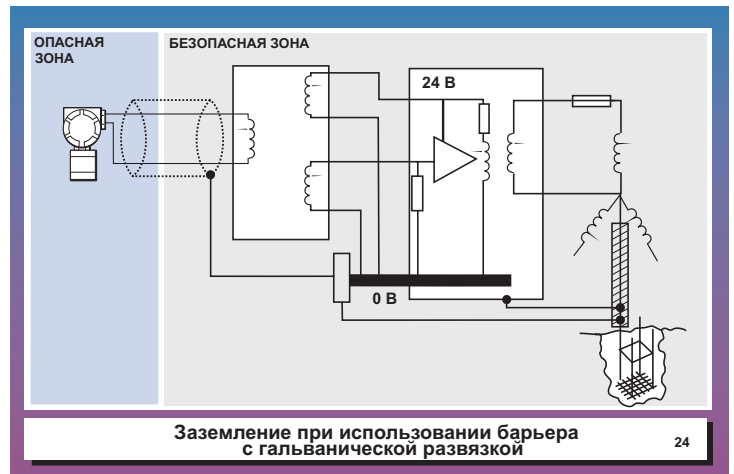


Возможность и необходимость монтажа дублирующих шин заземления также нужно рассматривать, т.к. надежность заземления существенна при всех типах монтажа.

Устройство заземления, иллюстрированное на Рис. 24 идентично для неопасного устройства, но заземление должно удовлетворять требованиям безопасности.

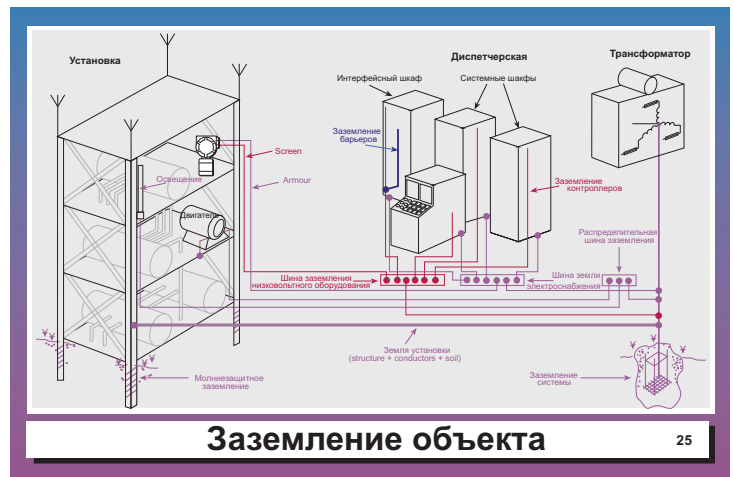
Полное устройство заземления, показанное на Рис. 25 подчеркивает, что устройство заземления измерительного прибора - только часть полного устройства системы заземления объекта.

Требования к заземлению только незначительно отличаются в зависимости от того, используются ли шунт-диодные барьеры или с гальванической развязкой.



Заземление при использовании барьера с гальванической развязкой

24



Заземление объекта

25

Когда сигналы должны быть переданы через опасную зону с использованием соответствующих методов безопасной прокладки кабеля, предпочтительный метод должен использовать гальваническую развязку с обеих сторон.

Рис. 27 иллюстрирует подключение, часто используемое между анализатора объектов и диспетчерской.

Если сигнал должен быть передан удаленному объекту в безопасной зоне, Рис. 28, использование изолятора в интерфейсе устраняет препятствия в виде возможных разностей потенциалов между объектами с изолированными системами заземления.

Для таких случаев использование барьеров с гальванической развязкой является наиболее предпочтительным решением.

Рис. 29

Есть общее требование, определяющее, что искробезопасные цепи должны заземляться в одной точке для того, чтобы обеспечивалось необходимое (в соответствии с ГОСТ Р 51330.10-99) сопротивление изоляции, которое должно периодически проверяться напряжением 500 В.

Из этого следует, что там, где установлен чувствительный датчик или другой элемент, который не может быть изолирован от земли (например, рН преобразователь), предпочтительное решение состоит в том, чтобы использовать барьер с гальванической развязкой.

В некоторых странах свод правил разрешает использование эквипотенциальных проводников, присоединенных методом сварки, но это - не универсально принятая практика и ее нужно по возможности избегать.

Шунт-диодные барьеры

Барьеры с гальванической развязкой

Обязательное использование низковольтного оборудования

Источники сигнала и питания изолированы друг от друга

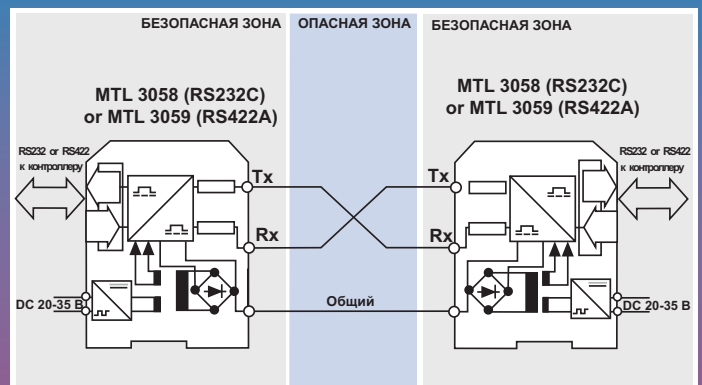
Барьеры с гальванической развязкой обычно имеют тройную изоляцию порта и отсутствие электрической связи между цепями. Это упрощает поиск повреждения

Низковольтные шунт-диодный барьер и контроллер связаны между собой. Двухканальные барьеры могут создавать псевдоизолированные от земли цепи.

Барьеры с гальванической развязкой рекомендуется применять при пересечении кабелями опасной зоны, а так же при работе с удаленным оборудованием

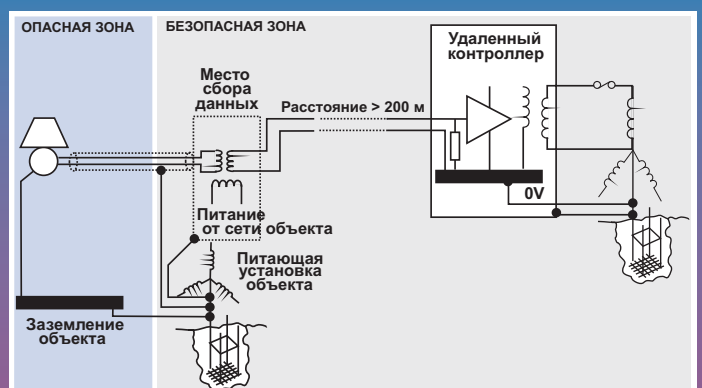
Сравнения

26



Пересечение опасной зоны

27



Передача сигнала на удаленный контроллер

28

Рис. 29

Шунт-диодные барьеры

Барьеры с гальванической развязкой

Искробезопасная цепь должна быть изолирована от земли в опасной зоне

Цепь может быть заземлена в одной точке опасной зоны

Отсутствие заземления в опасной зоне - общее требование для искробезопасных цепей

Если датчик - заземленная термопара, лучше всего использовать барьер с гальванической развязкой

Шунт-диодные барьеры в некоторых странах могут использоваться при наличии системы уравнивания потенциалов

Изоляция опасной зоны

29

Хотя развитие технологии производства барьеров с гальванической развязкой увеличила их точность, они еще менее точны чем шунт-диодные барьеры.

Обычно точность передачи информации барьерами с гальванической развязкой адекватна и удовлетворяет стандартным требованиям, но температурный коэффициент оставляет желать лучшего.

Шунт-диодные барьеры

Барьеры с гальванической развязкой

Точность и линейность выше (0.1%) Точность и линейность ниже (0.25%)

Для гальванической развязки аналоговых сигналов требуется несколько преобразований сигнала, из-за чего точность снижается

Шунт-диодные барьеры практически не искажают аналоговый сигнал и имеют очень малые токи утечки

Точность цифровых сигналов не изменяется для обоих типов барьеров

Точность измерений

30

Рис. 31 и 32 показывает сопоставимые схемы, где все сделано, чтобы достигнуть максимальной точности.

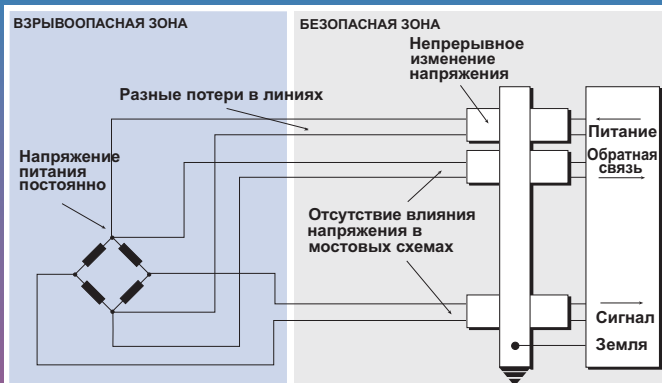
Схема с шунт-диодным барьером без труда может достигнуть точности 0,05 %, а схема на барьере с гальванической развязкой достигла бы 0,25 %, если температура окружающего воздуха не изменялась и составляла бы 25°C.

Рис. 33 показывает интеллектуальный датчик 4... 20mA, который при использовании аналогового интерфейса давал бы ожидаемую ошибку в 0,2 % (в интерфейсе).

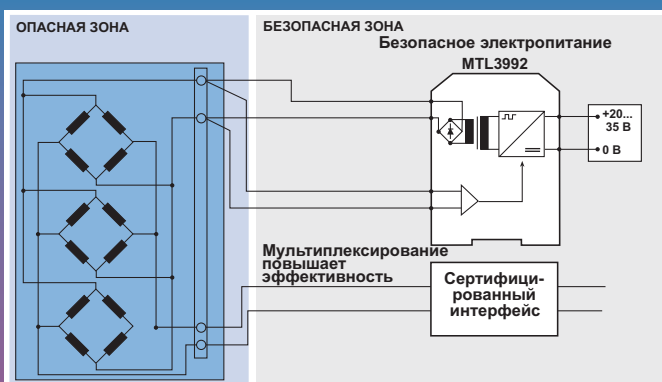
Если бы, однако, использовались цифровые данные, то барьер с гальванической развязкой не внес бы никакой дополнительной ошибки.

Из этого следует, что там, где изоляторы являются предпочтительным решением для использования совместно с интеллектуальными датчиками и требуется высокая точность, должен использоваться цифровой сигнал.

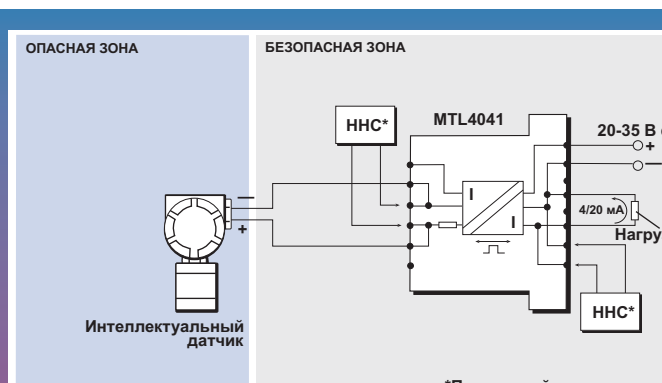
Рис. 31, 32 и 33



6-ти проводное подключение для минимизации ошибки 31



Подача питания в опасную зону 32



Подключение интеллектуального датчика 33

Сравнения по стоимости всегда трудны, потому что очень сложно обеспечить точное совпадение функций.

Есть, однако, общее устоявшееся мнение, по которому шунт-диодные барьеры считаются менее дорогими, чем барьеры с гальванической развязкой.

Практически для контроля состояния целей переключателя есть незначительное различие стоимости канала между этими двумя методами.

Если индивидуальная надежность контура и минимальные эксплуатационные затраты приемлемы, мультиплексоры в случае контроля состояния контактов контакторов ниже по стоимости чем соответствующие решение на шунт-диодных барьерах, как иллюстрировано на Рис. 35.

Аналоговые барьеры с гальванической развязкой более сложны чем соответствующие шунт-диодные барьеры, и различие стоимости становится существенным, как показано на Рис.36.

Однако, для не очень больших объектов различие стоимости редко является определяющим критерием для принятия решения.

Шунт-диодные барьеры

Стоимость ниже

Барьеры с гальванической развязкой

Стоимость выше

Барьеры с гальванической развязкой более дороги, чем шунт-диодные

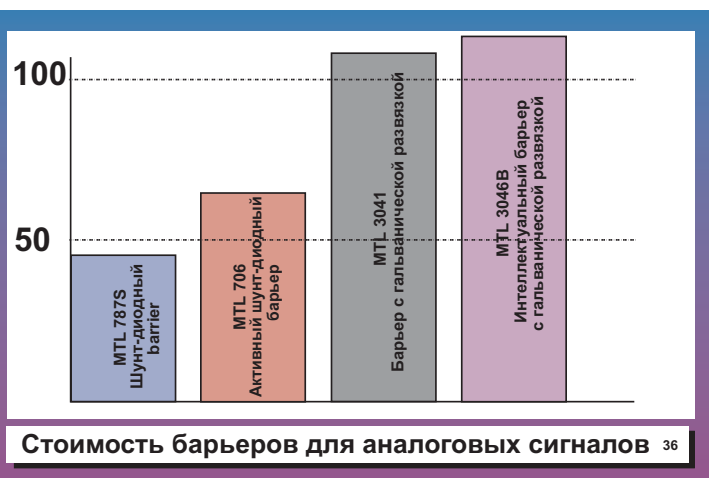
Использование цифровых сигналов минимизирует это различие. Возможно даже получение меньшей стоимости при использовании барьеров с гальванической развязкой

Цена

34



Стоимость барьеров для дискретных сигналов 35



Стоимость барьеров для аналоговых сигналов 36

Частотная характеристика шунт-диодного барьера определяется значением электрического тока, ограничиваемого резистором и внутренней емкостью стабилитрона емкость.

Внутренняя емкость стабилитрона нелинейно зависит от напряжения, некоторое искажение любых высокочастотных сигналов неизбежно имеет место, и, следовательно, суждение по частотной характеристике может вводить в заблуждение.

Если рабочая частота системы выше 50 кГц, единственное правильное решение состоит в том, чтобы испытать систему экспериментально, пытаясь, если возможно, учесть влияния кабелей.

Барьеры с гальванической развязкой должны быть специально разработаны для работы на определенной частоте. Например, интерфейс MTL3046B, иллюстрированный в Рис. 38 работает с большинством интеллектуальных датчиков 4...20 мА, но не со всеми.

Поэтому важно заранее проконтролировать совместимость между специфическим оборудованием и барьером с гальванической развязкой, который используется.

Шунт-диодные барьеры	Барьеры с гальванической развязкой
Хороший частотный диапазон	Ограниченный частотный диапазон
<p>Барьеры с гальванической развязкой имеют ограниченный диапазон частот и производятся для определенных задач</p> <p>Шунт-диодные барьеры ослабляют 100 кГц сигнал на 3 дБ</p> <p>Замечание: Емкость диода нелинейно зависит от напряжения</p>	
Частотный диапазон	
37	

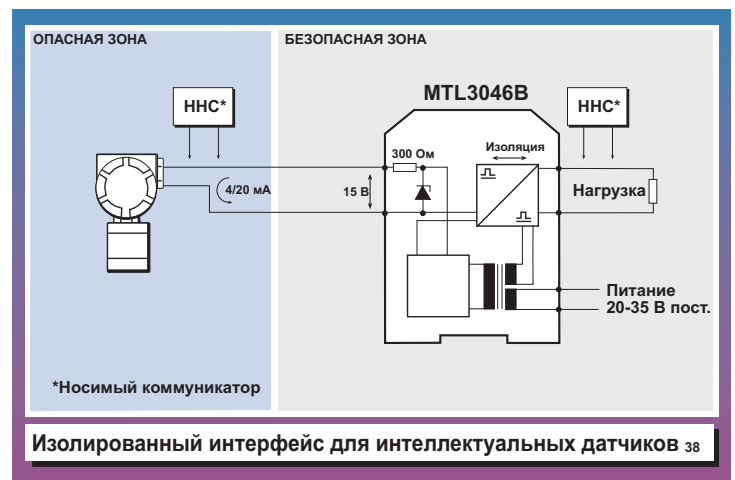


Рис. 39

В общем случае ремонтпригодность - не практический критерий. Здесь следует кратко остановиться на приемлемости барьеров с взаимозаменяемыми плавкими предохранителями для случаев, если ожидается частые повреждения и их нельзя избежать.

Шунт-диодные барьеры	Барьеры с гальванической развязкой
Неремонтпригодны	Могут быть восстановлены
<p>Барьеры с гальванической развязкой обычно имеют первичные предохранители и теоретически ремонтпригодны</p> <p>В шунт-диодных барьерах предохранитель встроен и восстановление невозможно</p>	
Ремонтпригодность	
39	

В случае, если есть существенная вероятность возникновения разностей потенциалов: вблизи электростанций, из-за неблагоприятных коротких замыканий, мощных коммутационных процессов или молнии, барьеры с гальванической развязкой имеют большую невосприимчивость к повреждению.

Рис. 41 иллюстрирует возможную проблему с шунт-диодными барьерами. Электрический ток повреждения от электродвигателя проходит через цепь источника напряжения из за разности потенциалов между точками X и Y. В этом случае вся разность потенциалов окажется приложенной между термодварой и резервуаром в опасной зоне. Шунт-диодный барьер жертвенно защитит контрольно-измерительную аппаратуру.

Барьеры с гальванической развязкой обычно проверяются, чтобы противостоять 2,5 кВ (среднеквадратичное значение) и следовательно, обеспечивают некоторую большую степень защиты системы измерений.

Рис. 42 показывает, как использование барьера с гальванической развязкой вместе совместно с устройством защиты от импульсных перенапряжений может предотвратить недопустимую разность потенциалов в пределах опасной зоны.

Потребность минимизировать количество методов, используемых в пределах оборудования очевидна. Поэтому, если установка уже использует, шунт-диодные барьеры или барьеры с гальванической развязкой в большинстве случаев, лучше продолжить сложившуюся практику.

Шунт-диодные барьеры

Более уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям

Барьеры с гальванической развязкой

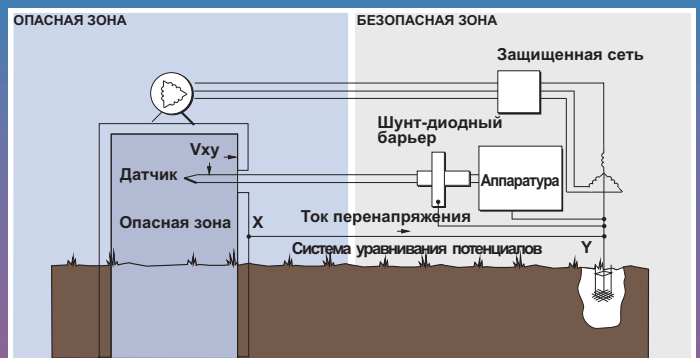
Менее уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям

Импульсные перенапряжения, вызываемые молнией и коммутациями мощных нагрузок в электросети - важная причина для беспокойства

Для решения проблемы в дополнение к шунт-диодным барьерам рекомендуется устанавливать защиту от перенапряжений

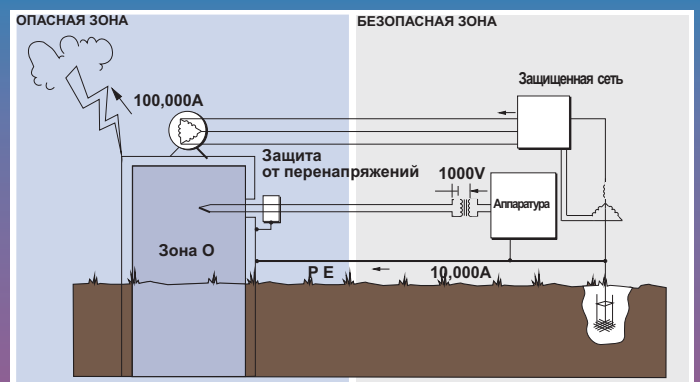
Импульсные перенапряжения

40



Опасный для барьера ток

41



Использование защиты от перенапряжений

42

Рис. 43

Шунт-диодные барьеры

Широкое применение во всем мире

Барьеры с гальванической развязкой

Предпочтительны для судостроения

Морские инструкции регламентируют изолировать цепи что бы избежать токов в корпусе судна

Сложившаяся практика

44

При расчете нужно удостовериться, что корректно рассмотрен каждый из влияющих факторов. Если имеются предпочтения одного из методов, лучше продолжить сложившуюся практику, так как любое решение вероятно будет удовлетворительно.

Оцените рейтинг пункта в 10 баллов, если требование важно.

Оцените рейтинг пункта в 6 баллов, если требование существенно.

Не оценивайте рейтинг пункта никак, если требование не имеет никакого значения.

Шунт-диодные барьеры	Баллы:	Барьеры с гальванической развязкой (изоляторы)	Баллы:
Простота изделий (большое время безотказной работы)		Сложность изделий (среднее время безотказной работы)	
Универсальность		Специализированное назначение для каждого устройства	
Низкие потери		Высокое энергопотребление	
Не требует отдельного источника питания		Необходим отдельный источник питания	
Ограниченный диапазон рабочих напряжений		Более широкий диапазон рабочих напряжений	
Ограниченное напряжение, доступное в опасной зоне		Более высокое напряжение (мощность), доступные в опасной и в безопасной зонах	
Более высокая плотность монтажа		Менее высокая плотность монтажа	
Необходимость фундаментального безопасного заземления барьеров		Менее строгие требования к заземлению	
Необходимость использования только низковольтного оборудования, обусловленное гальванической связью между опасной и безопасной зонами.		Отсутствие гальванической связи	
Оборудование опасной зоны должно быть изолировано от земли		Оборудование опасной зоны может иметь контакт с землей	
Точность и линейность выше (0,1 %)		Менее высокая точность и линейность (0,25 %)	
Стоимость ниже		Увеличенная стоимость	
Хорошая частотный диапазон (до 100KHz)		Ограниченный частотный диапазон	
Не поддается восстановлению после аварии		Может быть восстановлен после аварии	
Уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям.		Менее уязвимы к молнии и другим импульсным перенапряжениям.	
Большая практика эксплуатации во всем мире		Незаменимы в кораблестроении и для отдельных специальных применений.	
Сумма баллов:		Сумма баллов:	
Соотношение достоинств барьеров		45	

Если сумма баллов показывает существенное предпочтение одного из методов, выбор очевиден.

Если суммы баллов сбалансированы, следует придерживаться сложившихся предпочтений.

Независимо от полученного результата используйте оборудование MTL.