

6 Тип защиты "i" искробезопасная цепь

6.1	Принципы искробезопасности_____	6-1
6.1.1	Функциональный принцип_____	6-1
6.1.2	Минимальные кривые зажигания для резистивных цепей_____	6-5
6.1.3	Минимальные кривые зажигания для емкостных цепей_____	6-6
6.1.4	Минимальные кривые зажигания для индуктивных цепей_____	6-8
6.1.5	Использование минимальных кривых зажигания_____	6-10
6.2	Устройство в искробезопасной цепи_____	6-10
6.2.1	Подразделение искробезопасных устройств_____	6-10
6.2.2	Принцип действия барьеров безопасности_____	6-13
6.2.3	Устройство без металлической изоляции_____	6-14
6.2.4	Устройство с металлической изоляцией_____	6-16
6.3	Соединения в искробезопасной цепи_____	6-17
6.3.1	Искробезопасная цепь с одним соединенным электроустройством_____	6-17
6.3.2	Искробезопасная схема с двумя или более соединенными электроустройствами (требования к установке в зонах 0 и 1)_____	6-20

Рисунки		
6.1	Основные схемы цепей ограничения напряжения/тока при типе защиты "i" ("искробезопасность")	6-2
6.2	Основные характеристики резистивного и электронного ограничения тока	6-3
6.3	Минимальные кривые зажигания для резистивных цепей групп взрыва I, IIA, IIB, IIC, (по DIN VDE 0171, часть 7, 05.78 (EN 50002, рис. A2)	6-6
6.4	Минимальные кривые зажигания для емкостных цепей (EN 50020, рис. A3.2)	6-8
6.5	Минимальные кривые зажигания для индуктивных цепей (EN 50020, рис. A1.1)	6-9
6.6	Типичная структура искробезопасной системы измерения и управления	6-10
6.7	Обзор искробезопасных устройств	6-11
6.8	Процедура выбора искробезопасных устройств для зоны 1	6-13
6.9	Основные схемы защитных барьеров	6-14
6.10	Принцип действия эквипотенциальной шины	6-15
6.11	Устройство с металлической изоляцией	6-16
6.12	Допустимые соединения в искробезопасной цепи	6-19
6.13	Параллельное включение двух выходов (Возможно только суммирование токов)	6-22
6.14	Последовательное включение двух выходов (Возможно только суммирование напряжений)	6-23
6.15	Последовательное включение двух выходов; возможно только суммирование напряжений. При параллельном включении возможно только суммирование токов	6-24
6.16	Последовательное включение 1	6-26
6.17	Последовательное включение 2	6-26
6.18	Параллельное включение 1	6-27
6.19	Параллельное включение 2	6-27
6.20	Последовательное или параллельное включение	6-28
6.21	Минимальные кривые зажигания с электронными цепями ограничения тока (С учетом коэффициента безопасности 1.5)	6-29
6.22	Пример подключения трех связанных устройств к одному искробезопасному устройству	6-31
6.23	Обобщенные основные характеристики схемы соединений на рисунке 6.19	6-31
6.24	Предельные кривые для соединений в цепях с электронным ограничением тока (С учетом коэффициента безопасности 1.5)	6-32
Таблицы		
6.1	Сравнение пределов безопасности	6-18
6.2	Распределение минимальных кривых зажигания по группам взрыва и индуктивности	6-28

6 Тип защиты "i" искробезопасная цепь

При установке электрических систем в опасных зонах в последние годы значение искробезопасности как типа защиты возрастает. Здесь и в дальнейшем рассматриваются не отдельные искробезопасные устройства по DIN EN 50020, а электрическая искробезопасная система из двух или более устройств, включая соединительные кабели.

6.1 Принципы искробезопасности

6.1.1 Функциональный принцип

Основой искробезопасности как типа защиты является то, что для зажигания взрывчатой среды требуется определенная минимальная энергия зажигания. В искробезопасной цепи в опасной зоне эта минимальная энергия отсутствует как при нормальной работе, так и при неисправности. Искробезопасность цепи достигается ограничением тока и напряжения. Поэтому тип защиты "искробезопасность" ("i") ограничивается цепями с относительно низкими энергетическими уровнями.

В искробезопасной цепи отсутствуют

- искры или
- тепловые эффекты (рост температуры)

в процессе работы или при неисправности, которые могли бы привести к зажиганию взрывчатой среды.

Следовательно **зажигание вследствие искр** исключается, т.е. не возникает искр при размыкании и замыкании цепи, коротком замыкании или неисправности заземления.

При нормальной работе и неисправности исключается **термическое зажигание**, т.к. в искробезопасной цепи и кабелях невозможен избыточный рост температуры.

Принцип искробезопасности как типа защиты показан на рис. 6.1.

Для **ограничения напряжения** при неисправности обычно используются диоды Зенера. Их характеристика такова, что они начинают проводить ток только при определенном напряжении, т.е. ток через диод быстро возрастает при, так называемом, напряжении Зенера, что приводит к ограничению напряжения.

Следует рассмотреть два случая **ограничения тока** (рис. 6.2):

- **Резистивное** ограничение тока с линейной или трапециевидальной характеристикой, или
- **электронное** ограничение тока с прямоугольной характеристикой.

Более того, следует заметить, что в комбинированных цепях, содержащих как емкости, так и индуктивности, величины зажигания (комбинации величин тока и напряжения) ниже, чем в цепях, где энергия запасается только в индуктивности или только в емкости.

В случае **резистивного ограничения тока** этот эффект можно не принимать во внимание при работе в Зоне 1. При применении комбинированных цепей в Зоне 0 величины C_a и L_a должны быть уменьшены. Это принимается во внимание при освидетельствовании устройств. В случае **электронного ограничения тока** эффект комбинированной цепи настолько усиливается, что требуются сложные вычисления даже для применений в Зоне 1.

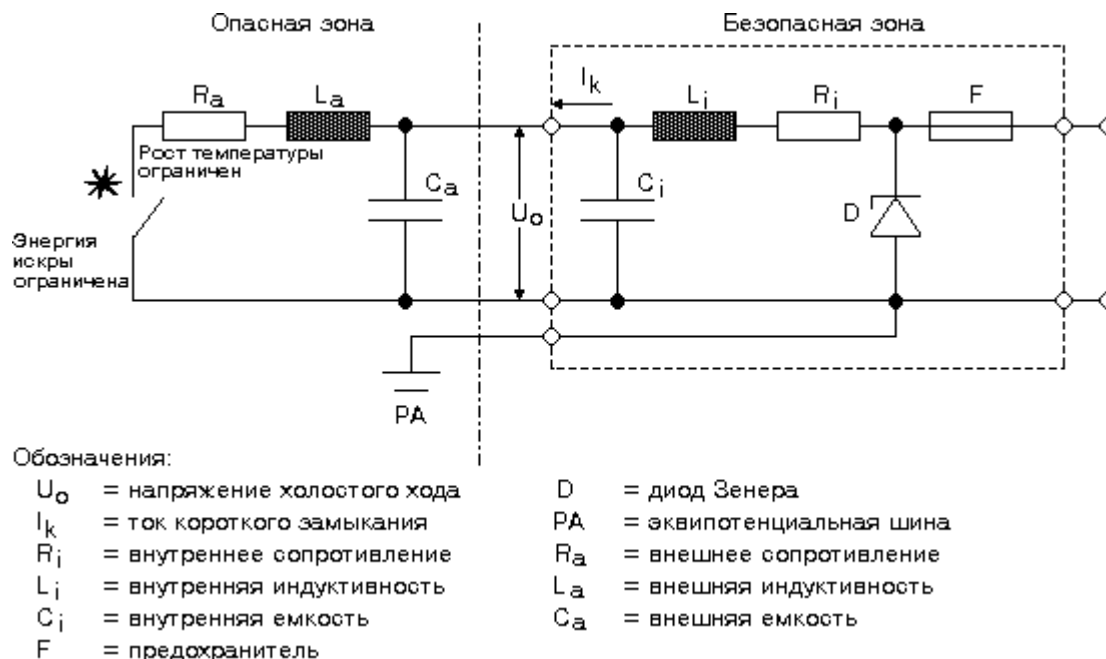


Рис. 6.1 Основные схемы цепей ограничения напряжения/тока при типе защиты "i" ("искробезопасность")

Резистивное ограничение тока достигается использованием последовательных резисторов R, которые питаются от надежно ограниченного источника напряжения. Трапециедальная характеристика создается резистором и ограничивающим напряжением диодом Зенера (рис. 6.2). Для сравнения показана характеристика с электронным ограничением тока.

Искробезопасность может быть нарушена энергией, накопленной в цепи индуктивностями или емкостями (в т.ч. катушками измерительных приборов, длинными линиями).

Если в искробезопасной цепи имеется **конденсатор** в заряженном состоянии, он запасает **энергию** $1/2 CU^2$. При коротком замыкании энергия, освобожденная в точке замыкания, складывается из энергии в устройстве и энергии, запасенной в

конденсаторе. Таким образом, наличие конденсатора в цепи в обязательном порядке должно быть принято во внимание по соображениям безопасности, т.к. полная энергия искры должна быть меньше минимальной энергии зажигания.

В случае присутствия **индуктивности** в искробезопасной цепи накопленная энергия $\frac{1}{2} LI^2$ освобождается при размыкании цепи; это следует принять во внимание при проверке искробезопасности.

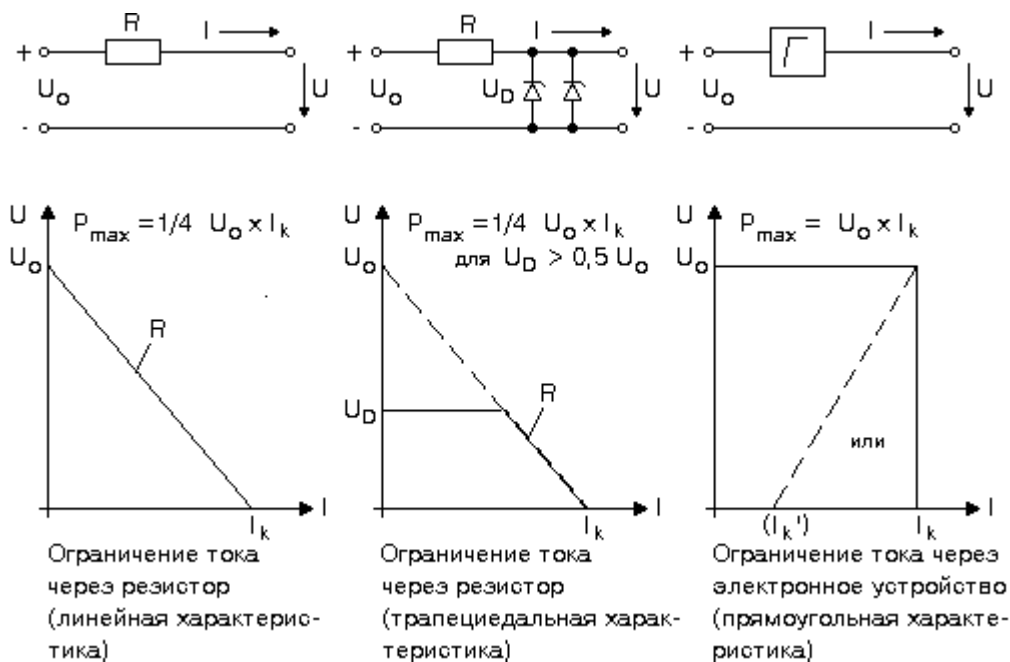


Рис. 6.2

Основные характеристики резистивного и электронного ограничения тока

Замечание

При проверке искробезопасности цепи должны учитываться величины сопротивлений, емкостей и индуктивностей.

Гарантия искробезопасности достигается защищенной конструкцией и подходящей схемой.

Меры по **предотвращению зажигания вследствие искр** гарантируют, что даже в случае неисправности в искробезопасной схеме устройства уровни напряжения, тока или мощности останутся такими же, как и при нормальной работе, замыкании, размыкании и заземлении цепи, зажигание окружающей взрывчатой среды вследствие искр не произойдет.

Для определения величин тока и напряжения, при которых искры в искробезопасной цепи еще не способны вызвать зажигание, используется экспериментальный метод:

применяется стандартное контрольное искровое устройство и результаты документируются в виде так называемых **минимальных кривых зажигания** (Приложение А к DIN EN 50020/VDE0170/0171 часть 7/5.78), по которым производится оценка (простых) искробезопасных цепей. Зажигание вследствие искры в искробезопасной цепи надежно исключается ограничением тока и напряжения и ограничением максимальной внешней емкости и индуктивности до значений, ниже минимальных кривых зажигания по DIN EN 50020.

Минимальные кривые зажигания построены для вероятности зажигания $W \sim 10^{-3}$, т.е. в среднем имеет место одно зажигание на 1000 искр. Когда принимается во внимание **коэффициент безопасности**, вероятность зажигания снижается на 2-3 порядка.

Минимальные кривые зажигания, данные в EN 50020, относятся к линейным основным характеристикам, характерным для резистивного ограничения тока. Цепи с электронным ограничением тока по ним оцениваться не могут. Они зажигают при значительно более низком уровне тока и напряжения. Максимальная выходная мощность P_{\max} при электронном ограничении тока выше.

Для **исключения термического зажигания** соединяемые устройства должны быть отобраны и согласованы по характеристикам роста температуры. Температурный класс, определенный для устройств, регламентирует их применение.

Поскольку рост температуры устройства в искробезопасной цепи в основном определяется подводимой мощностью, для обеспечения искробезопасности проверяемого электроустройства к нему не должны подводиться ток, напряжение или мощность, превышающие значения, указанные в сертификате. Этот простой метод, позволяет пользователю оценить характеристики роста температуры без необходимости проводить измерения.

Резюме:

В целом, энергия, которая может быть накоплена в индуктивности, емкости, или тепловая энергия, накопленная в искробезопасной цепи, ограничена, поэтому полная энергия в цепи меньше, чем минимальная энергия зажигания.

Кроме того, целью защитных мер является гарантия, что, когда безопасный ток или напряжение создаются сетью переменного тока или другим источником, искробезопасность не нарушится вследствие неисправности компонентов (полупроводников, конденсаторов, диодав Зенера), обеспечивающих искробезопасность.

Замечание:

Минимальные кривые зажигания, приведенные здесь, взяты из действующей в настоящее время редакции Европейского стандарта EN 50020. Однако, имеется условно новая редакция этого стандарта с пересмотренными минимальными кривыми зажигания, где допускаются токи только до 500 мА в соответствии с практикой, одобренной РТВ.

6.1.2 Минимальные кривые зажигания для резистивной цепи

На рис. 6.3 представлены минимальные кривые зажигания для цепей с очень малыми индуктивностью и емкостью, также известные как резистивные цепи. Энергия искры короткого замыкания - это произведение значений напряжения и тока, так что при малых токах допускаются высокие напряжения, а при низких напряжениях большие токи.

Пары значений ток-напряжение на минимальных кривых зажигания показывают значения, при которых искра уже не может вызвать зажигание в процессе проверки на контрольном искровом устройстве.

Минимальный ток зажигания может быть определен из минимальной кривой зажигания при данном напряжении U_0 , т.е. напряжении без нагрузки. Для того, чтобы не превысить максимально допустимый ток I_k , т.е. ток короткого замыкания для искробезопасной цепи, необходимо учесть коэффициент безопасности. Ток короткого замыкания получается делением минимального тока зажигания, считанного с минимальной кривой зажигания, на коэффициент безопасности 1.5.

Пример:

При данном максимальном напряжении U_0 соответствующий минимальный ток зажигания может быть найден из минимальной кривой зажигания. Максимальный ток I_k , допустимый для искробезопасной цепи, получается делением минимального тока зажигания на коэффициент безопасности 1.5. U_0 - напряжение холостого хода искробезопасной цепи, I_k - ток короткого замыкания.

Пример:

$$U_0 = 30 \text{ В}$$

$$I_k = \frac{150}{1.5} \text{ А} = 100 \text{ А}$$

(используется минимальная кривая зажигания для группы взрыва IIC, рис. 6.3)

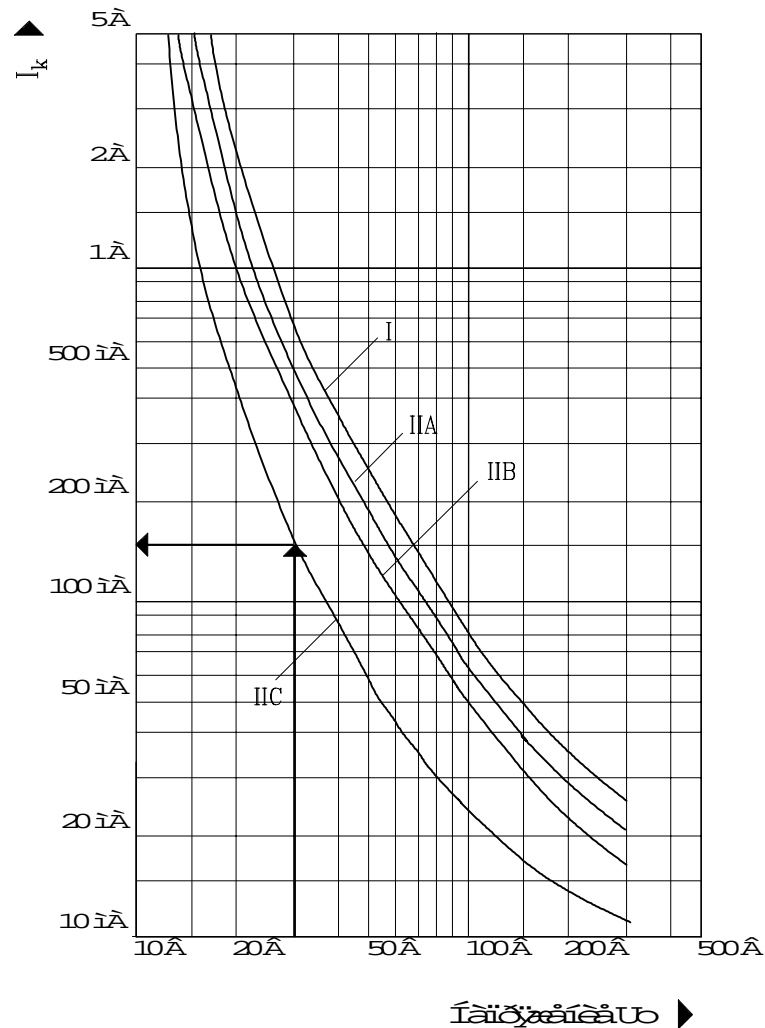


Рисунок 6.3 Минимальные кривые зажигания для резистивных цепей групп взрыва I, IIA, IIB, IIC, (по DIN VDE 0171, часть 7, 05.78 (EN 50002, рис. A2))

Минимальная энергия зажигания от искры сильно зависит от вещества (Таб. 4.5). Полученная из этого классификация взрывозащищенных электроустройств приводит к различиям минимальных кривых зажигания.

При построении минимальных кривых зажигания наиболее опасные газы группы проверяются с использованием искрового контрольного устройства в наиболее опасной смеси с воздухом. Таким образом, на практике, применительно к группам IIB и IIA, может быть достигнуто снижение требований к искробезопасным цепям. Это означает, что в соответствии с минимальными кривыми зажигания могут быть использованы более высокие напряжения и токи.

6.1.3 Минимальные кривые зажигания для емкостных цепей

Индуктивности или емкости обладают способностью к накоплению энергии в цепи, что способствует зажиганию. Искры, образующиеся в результате замыкания или размыкания цепи, получают дополнительную энергию.

Когда цепь замыкается, **емкости** отдают накопленную энергию $W = CU^2$ очень быстро. Как только поверхности начинают соприкасаться, сразу же течет большой

ток; это может привести к плавлению или испарению микроскопически малых частиц поверхности, которые входят в состав так называемого искрения дребезга.

Самое большое напряжение в цепи, напряжение холостого хода U_0 , связано с допустимой емкостью C_a в искробезопасной цепи. Эта зависимость определена экспериментально с помощью контрольного устройства и отражена в минимальной кривой зажигания для емкостных цепей в приложении А к DIN EN 50020.

При использовании минимальных кривых зажигания следует учитывать коэффициент безопасности: напряжение холостого хода U_0 необходимо умножить на коэффициент безопасности 1.5 и, для полученного значения, по минимальной кривой зажигания определить допустимую емкость C_a .

Пример для емкостных цепей

На рис. 6.4 представлены минимальные кривые зажигания для емкостных цепей (группа IIC). Величина допустимой емкости C_a в искробезопасной цепи зависит от максимального напряжения в цепи (напряжения холостого хода) U_0 . Это напряжение должно быть умножено на коэффициент безопасности 1.5. Пример для группы IIC:

$$U_0 = 24 \text{ В}$$

$$U_0 \times 1.5 = 36 \text{ В,} \quad \text{тогда } C_a = 200 \text{ нФ (из кривой Cd)} \\ C_a = 500 \text{ нФ (из кривой Sn)}$$

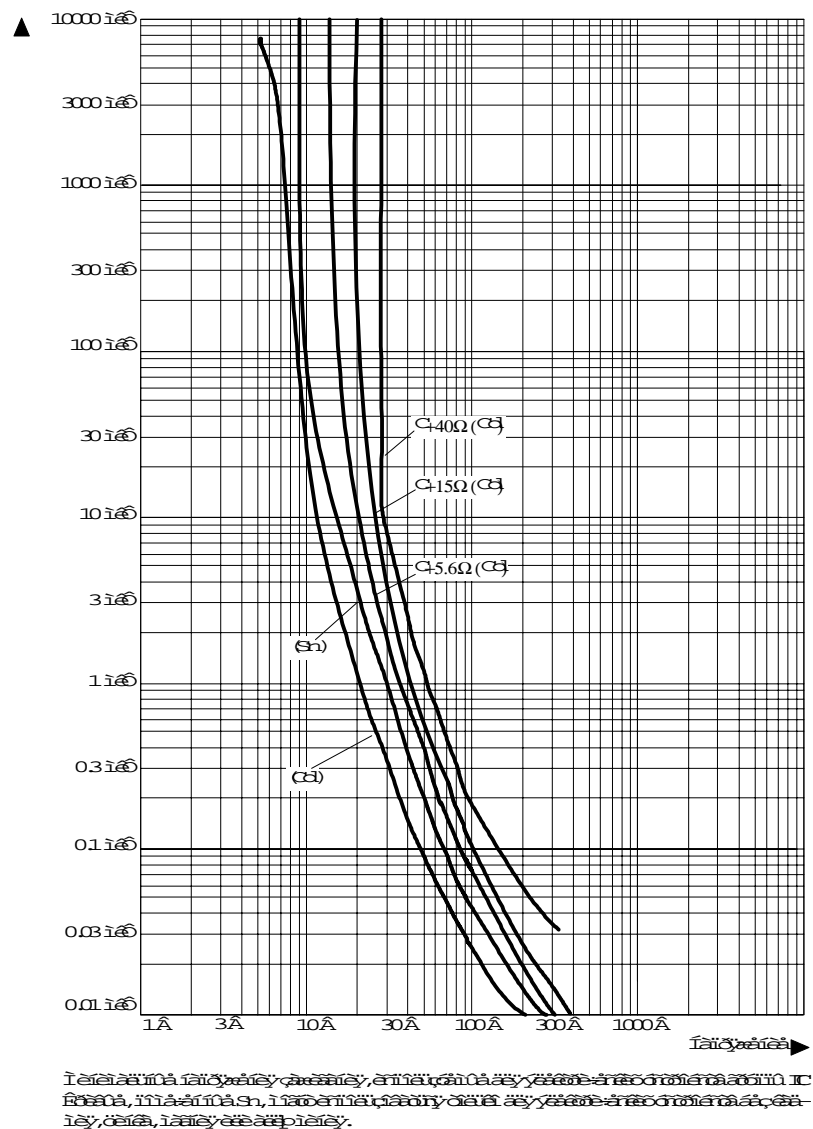


Рисунок 6.4 Минимальные кривые зажигания для емкостных цепей (EN 50020, рис. A3.2)

6.1.4 Минимальные кривые зажигания для индуктивных цепей

Индуктивности приводят к образованию искры при размыкании цепи. Накопленная энергия $W = 1/2 LI^2$ создает высокое напряжение, когда контакты размыкаются, и через воздушный зазор проскакивает электрический разряд в форме дуги. Зависимость между максимальным безопасным током в течение короткого замыкания I_k и допустимой индуктивностью L_a также представляется в виде минимальных кривых зажигания.

В этом случае также необходимо учитывать коэффициент безопасности при использовании минимальных кривых зажигания; ток короткого замыкания необходимо умножить на коэффициент безопасности 1.5. Полученное значение тока дает соответствующую индуктивность L_a (см. пример).

В общем, при использовании минимальных кривых зажигания, следует учитывать, что они важны не только при проверке отдельных электроустройств, но и при соединении устройств в искробезопасную цепь. Необходимо отметить, что величины тока короткого замыкания I_k и напряжения холостого хода U_0 на минимальных кривых зажигания не присутствуют одновременно. Фактически, величины в искробезопасной цепи должны быть ниже. На рис. 6.5 представлены минимальные кривые зажигания для индуктивных цепей.

Цепи, содержащие элементы с индуктивным поведением, критичны к искре размыкания. Накопленная энергия определяется величиной индуктивности и амплитудой протекающего тока. Когда контакт размыкается, ток создает высокое напряжение, которое способно вызвать дуговой разряд в зазоре. Допустимая индуктивность L_a зависит от максимального безопасного тока I_k во время короткого замыкания. Здесь так же следует учитывать коэффициент безопасности.

Пример для группы взрыва IIC:

$I_k = 20 \text{ мА}$, $I_k = 20 \text{ мА} \times 1.5 = 30 \text{ мА}$, тогда $L_a = 85 \text{ мГ}$

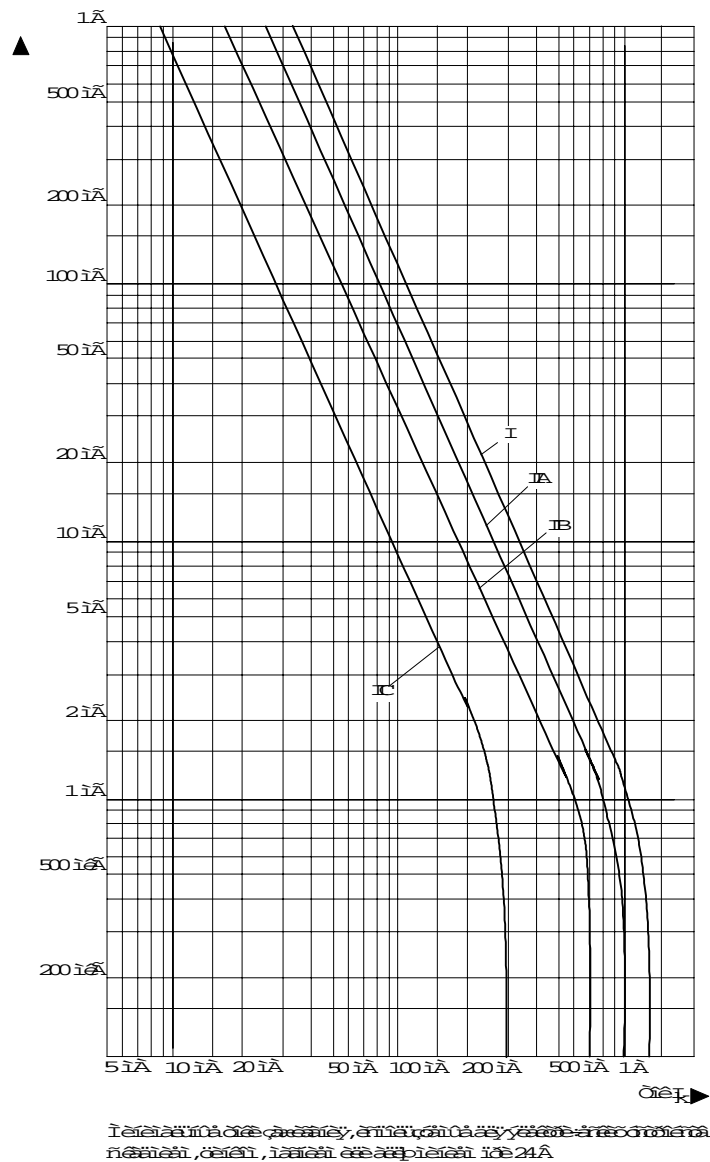


Рисунок 6.5 Минимальные кривые зажигания для индуктивных цепей по EN 50020, рис. A1.1

6.1.5 Использование минимальных кривых зажигания

Доклад РТВ W-39 специально указывает, что минимальные кривые зажигания, представленные в EN 50020, могут быть использованы только для электроустройств с линейными вольтамперными характеристиками.

6.2 Устройства в искробезопасных цепях

6.2.1 Подразделение искробезопасных устройств

На рис. 6.6 представлена структура искробезопасной системы для измерения, разомкнутого и замкнутого управления в опасной зоне. Необходимое для автоматизации и индикации оборудование, для которого взрывозащита не требуется, размещено вне опасной зоны, например, в операторной. Все цепи, проведенные в опасной зоне, должны быть искробезопасными. Изолирующие каскады между искробезопасными полевыми цепями в опасной зоне и неискробезопасными цепями в операторной обеспечивают необходимое ограничение тока и напряжения в опасной зоне. Следует применять правила монтажа искробезопасных систем, особенно, для полевых цепей и изолирующих каскадов.

Изолирующие каскады могут быть в виде отдельных устройств, например, барьеры безопасности или изолирующие трансформаторы, или встроены в SIMATIC Ex модули.

Преимущество SIMATIC Ex модулей в том, что встроенные изолирующие каскады снижают занимаемый объем и стоимость разводки. Более того, изменение разводки может быть выполнено за счет программного обеспечения.

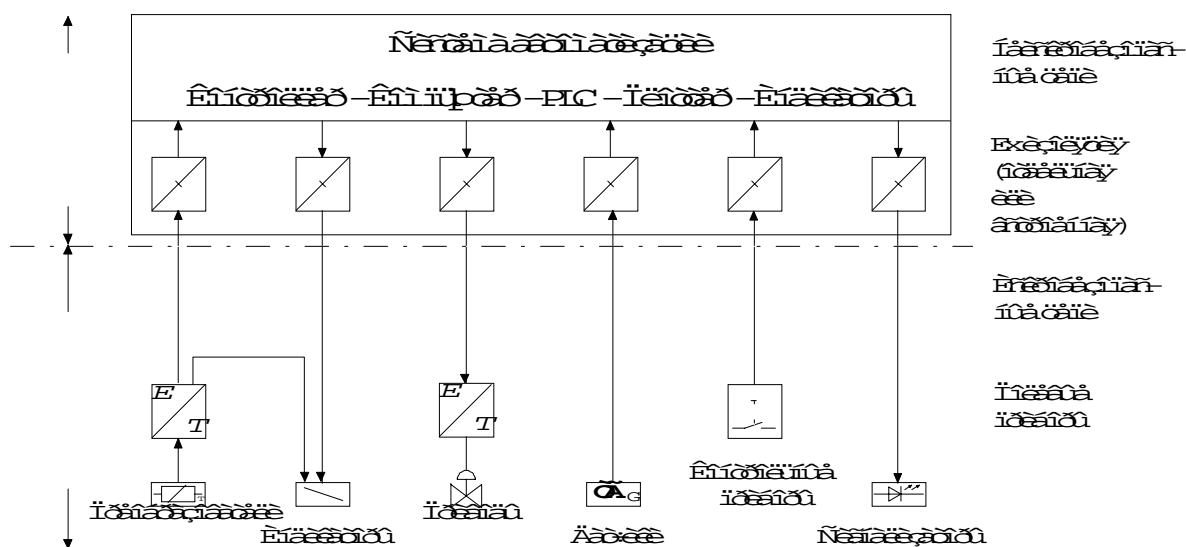


Рисунок 6.6 Типичная структура искробезопасной системы измерения и управления

В разделе 4.2.7 рассматривалась классификация устройств в искробезопасных цепях на искробезопасные и связанные электроустройства. **Искробезопасные устройства**, в свою очередь, подразделяются на:

- **Активные искробезопасные устройства**
- **Пассивные искробезопасные устройства**

Это различие важно, когда требуется разрешение для использования в Зоне 1. Искробезопасные устройства подлежат обязательной контрольной процедуре для Зоны 0.

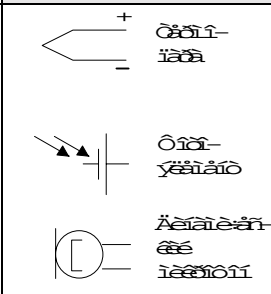
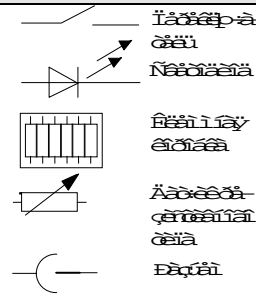
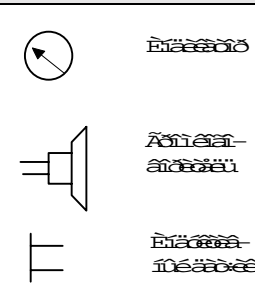
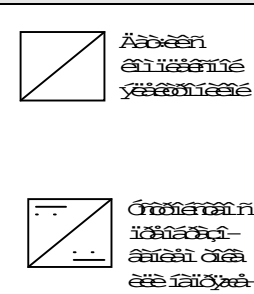
Активные устройства (Источники)	Пассивные устройства без накопления	Пассивные устройства с накоплением	Комплексные пассивные устройства
			

Рисунок 6.7 Обзор искробезопасных устройств

Активные искробезопасные устройства содержат собственный источник питания; ограничение тока и напряжения достигается при помощи соответствующих схем. Они должны быть проверены и допущены к применению, за исключением случая, когда электрические величины не превышают 1.2 В, 0.1 А, 20 μ J, или 25 мВ (EN50014). Примерами устройств, которые не требуют сертификации, являются терморезисторы, фотоэлементы и динамические микрофонные капсулы.

В случае пассивных искробезопасных устройств без накопления электрической, магнитной или тепловой энергии, можно не учитывать дополнительную энергию при формировании искры или избыточном росте температуры. Эти устройства включают, например, переключатели, разъемы, клеммные коробки, светодиоды, термисторы, датчики резистивного типа. Их можно рассматривать как искробезопасные без применения специальных мер; в соответствии с DIN VDE 0165 их не требуется сертифицировать или подвергать проверке на подтверждение типа.

Конечно, электрические и температурные характеристики устройств должны быть известны, и конструкционные требования DIN EN 50020 / VDE 0170/0171, часть 7, должны быть учтены. Соблюдение воздушных зазоров и каналов утечки и адекватных зазоров на элементах подключения особенно важно для предотвращения электрических разрядов.

Конструкционные требования по DIN EN 50020

- Защита корпуса не ниже IP 20
- Зазор между элементами подключения искробезопасных цепей и элементами подключения или оголенными проводниками неискробезопасных цепей не менее 50 мм.
- Воздушный зазор между элементами подключения искробезопасных цепей и заземленными металлическими частями:
 ≥ 3 мм
 между двумя различными искробезопасными цепями:
 ≥ 6 мм
- Изоляция между проводящими частями

Напряжение	375 В	30 В
Канал утечки по воздуху, мм	10	2
Воздушный зазор, мм	6	2
Зазор в оболочке, мм	2	0.7
- Напряжение изоляции между частями искробезопасной цепи и частями, которые могут быть заземлены: удвоенное напряжение, но не менее ~ 500 В
 Напряжение изоляции между искробезопасными цепями и неискробезопасными цепями ~ $2 \times U + 1000$ В, но не менее ~ 1500 В.

Если **эффект накопления электрической и тепловой энергии пассивными искробезопасными устройствами** явно выражен, то специальная контрольная процедура не требуется, т.к. это находится под ответственностью внедряющей организации и заказчика.

Если этот эффект незначителен, то электрические и тепловые характеристики устройств должны быть определены в соответствии полной процедурой проверки и сертифицированы. Это особенно касается составных пассивных устройств, т.к. их внутренние цепи трудно поверить. Примером могут служить датчики с комплексной электроникой и устройства с трансформацией тока или напряжения. У этих устройств предельные характеристики (внутренняя индуктивность, емкость, и т.д.) должны быть указаны на маркировке.

Соединенное электрическое устройство требует конструкции, которая обеспечивает надежную изоляцию между искробезопасными и неискробезопасными цепями также, как и ограничение тока и напряжения для искробезопасных цепей. Такое устройство подлежит специальной проверке.

В связанном электроустройстве конструкция элементов подключения внешних цепей должна исключать повреждение компонентов при подключении. Чтобы не поменять местами проводники искробезопасных и неискробезопасных цепей, элементы подключения искробезопасных и неискробезопасных цепей должны отстоять друг от друга не менее, чем на 50 мм, и должны быть специально маркированы. Это требование относится только к внешним элементам подключения, к которым пользователь имеет доступ.

Требуется ли проверка типа?

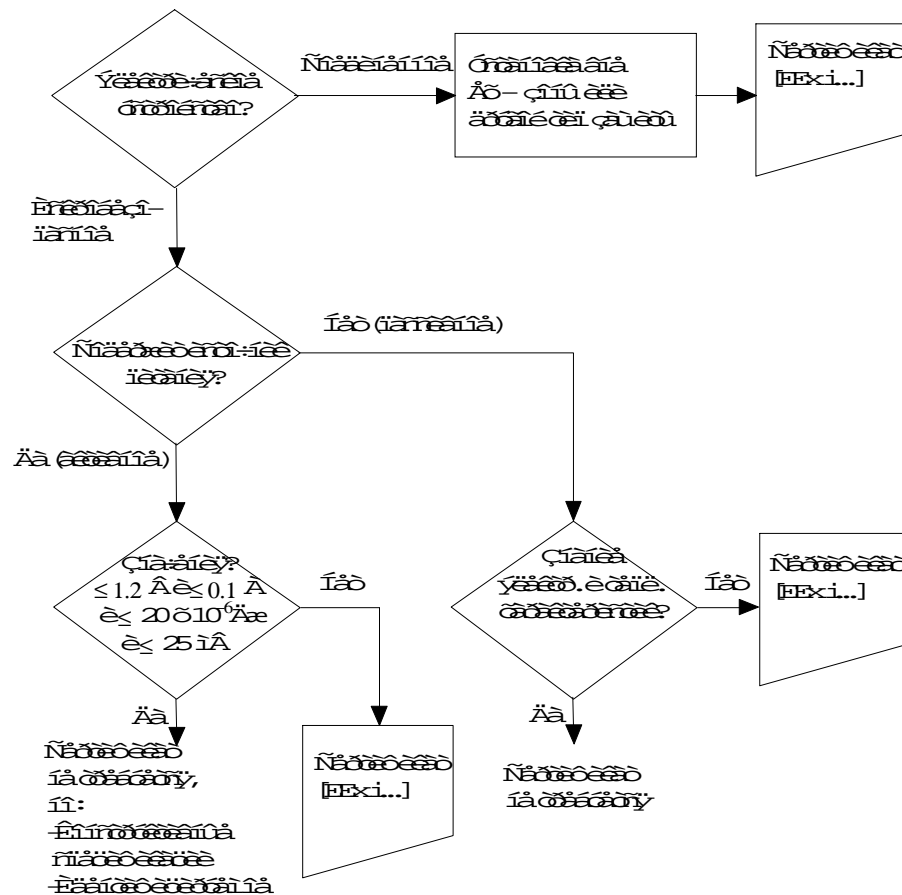


Рисунок 6.8 Процедура выбора устройства для Зоны 1

6.2.2 Принцип работы защитных барьеров

Защитные барьеры - это изолирующие каскады между искробезопасными и неискробезопасными цепями; они обеспечивают ограничение тока и напряжения, но не металлическую изоляцию, если это специально не предусмотрено конструкцией.

Ниже коротко объясняется принцип работы защитных барьеров, включая предохранитель, диод Зенера и резистор. Защитный барьер известен также как барьер Зенера (см. рис. 6.9). В целях безопасности диоды Зенера должны быть, по крайней мере, продублированы.

Цель защитного барьера - ограничить ток и напряжение искробезопасной цепи, даже в случае неисправности. Следует рассмотреть две возможные неисправности:

- чрезмерно высокое напряжение на неискробезопасной стороне,
- короткое замыкание на искробезопасной стороне.

Если напряжение U превышает допустимое значение из-за неисправности на неискробезопасной стороне защитного барьера, диод Зенера ограничит напряжение в искробезопасной цепи до напряжения диода Зенера. Предохранитель F защищает диод Зенера; в случае повышенного тока предохранитель перегорает до

того, как на диоде образуется перенапряжение или он выйдет из строя. Предохранитель и диод Зенера согласованы по характеристикам время-ток.

В случае короткого замыкания искробезопасной цепи резистор R ограничивает ток короткого замыкания до допустимой величины.

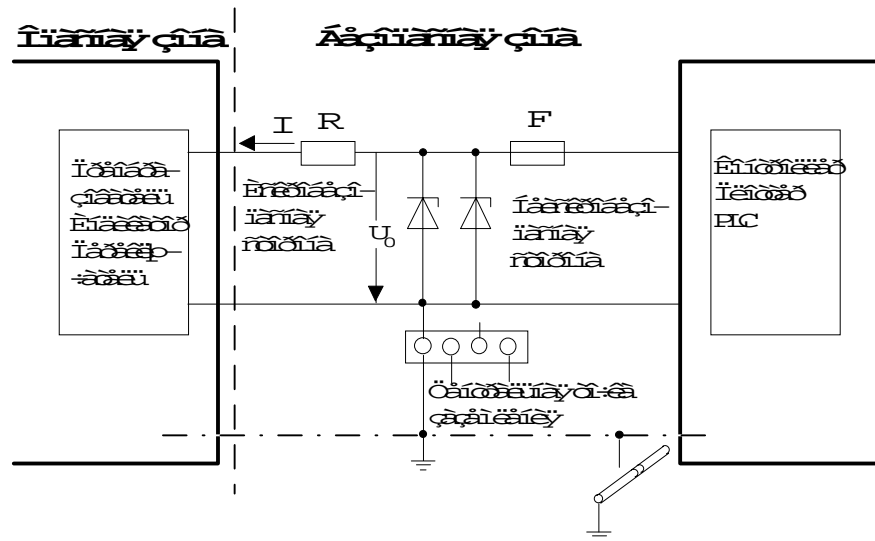


Рисунок 6.9 Схема защитного барьера

Поскольку все компоненты защитного барьера обеспечивают защиту искробезопасной цепи совместно, они обычно заключаются в общий корпус.

Замечание

Следует еще раз заметить, что защитные барьеры должны устанавливаться в безопасной зоне.

Защитные барьеры могут вызывать проблемы т.к., встроенный предохранитель часто сгорает, повреждая барьер, из-за короткого замыкания на клеммах, которые не имеют отношения к взрывозащите.

6.2.3 Устройство без металлической изоляции

Применение искробезопасной цепи без металлической изоляции показано на рис. 6.1.

Несмотря на ограничение напряжения и тока, в искробезопасной цепи может возникнуть чрезмерно высокий потенциал относительно земли. Поскольку между искробезопасной цепью и неискробезопасной цепью нет металлической изоляции, может быть предпринято следующее:

- Эквипотенциальная шина должна быть проведена по всей области искробезопасной цепи, которая должна присутствовать в опасной зоне.

- Короткое соединение между клеммой заземления защитного барьера и эквипотенциальной шиной.
- Достаточно большое поперечное сечение проводника (не менее 1.5 мм², медь)

На рис. 6.10 показан принцип работы эквипотенциальной шины, которая предотвращает циркуляцию тока через искробезопасную цепь в случае неисправности. Внутри системы исключается различие потенциалов искробезопасной цепи и проводящими частями системы.

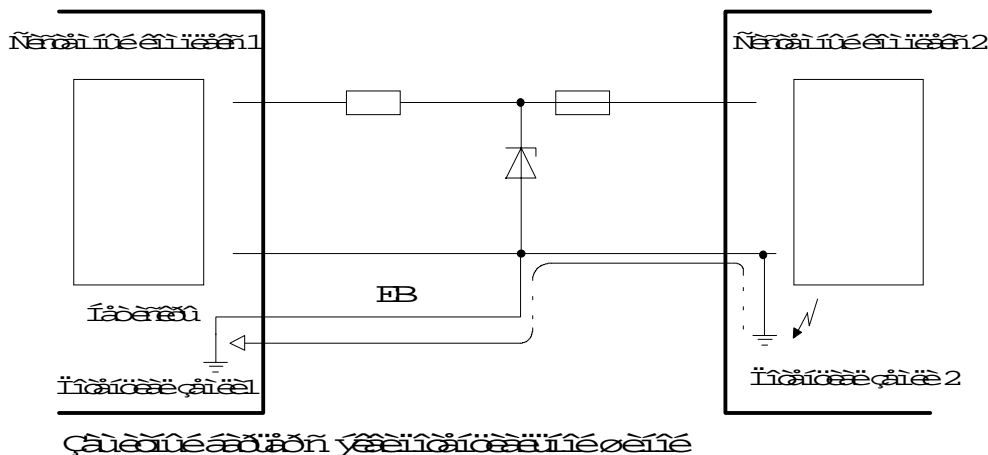


Рис. 6.10 Принцип работы эквипотенциальной шины.

Следует также заметить, что искробезопасные цепи могут заземляться только в одной точке. В случае, если используется заземление, показанное на рис. 6.1, заземление имеет место только на защитном барьере, дополнительное заземление, например в опасной зоне, не допускается.

Недостатки защитных барьеров

Использование защитных барьеров сопряжено с некоторыми недостатками. Например, барьеры имеют высокое проходное сопротивление, которое зависит от температуры. Более того, диоды Зенера имеют утечку тока в диапазоне входных напряжений. Использование защитных барьеров для ограничения напряжения/тока без металлической изоляции между искробезопасными и неискробезопасными цепями не допускается в Зоне 0, даже если устройство удовлетворяет требованиям категории "ia".

В системах измерения и управления не всегда допускается прямое заземление искробезопасных цепей. Для незаземленной конфигурации разработаны специальные защитные барьеры.

6.2.4 Устройство с металлической изоляцией

Часто важно обеспечить металлическую изоляцию между искробезопасной и неискробезопасной цепью по соображениям безопасности или измерительной техники (рис. 6.11).

Что касается измерительной техники, металлическая изоляция обеспечивает лучшее подавление помех в дополнение к большей гибкости по взаимным связям с другими устройствами. Более того, пользователь может обойтись без дополнительной эквипотенциальной шины.

Это важно для безопасности, когда, например, датчики искробезопасной цепи заземлены или не соблюдается напряжение изоляции 500 В относительно земли. Здесь металлическая изоляция обязательна, т.к. искробезопасные цепи могут заземляться только в одной точке.

В ФРГ для устройств с искробезопасными цепями, предназначенными для Зоны 0, металлическая изоляция необходима.

Металлическая изоляция с помощью трансформатора должна удовлетворять конструктивным требованиям EN 50020, т.е. определенной утечкой по поверхности и воздушным зазором, электрической прочностью 2500 В и т.д. Металлическая изоляция обеспечивает эти меры даже в случае неисправности, например, когда на трансформаторе присутствует полное напряжение сети.

Принцип металлической изоляции в защитных барьерах или модулях SIMATIC S5 Ex таков: постоянное напряжение преобразуется инвертором в сигнал переменного напряжения, которое через трансформаторную развязку передается на выход, где затем выпрямляется. Ограничение тока и напряжения обеспечивают искробезопасность выходной цепи.

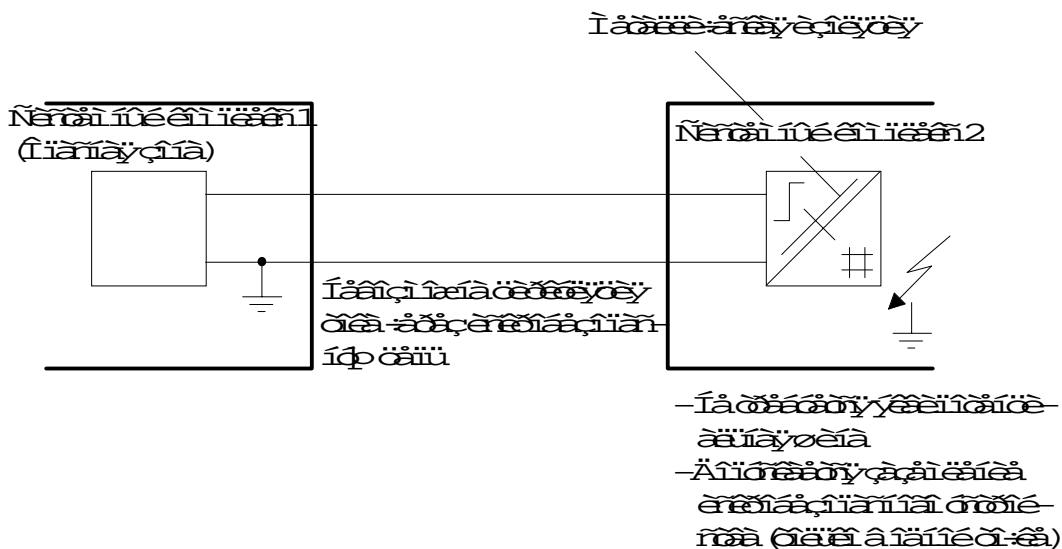


Рисунок 6.11 Устройство с металлической изоляцией

Преимущества металлической изоляции

- Возможно применение в Зоне 0 (категория "ia"), т.к. установочные спецификации требуют металлической изоляции.
- Искробезопасные полевые устройства могут иметь функциональное заземление, так что при заземлении в одной точке не возникает циркуляционных токов.
- При измерении отсутствуют ошибки, связанные с потенциалом земли.
- Не требуется дополнительной эквипотенциальной шины; это облегчает установку.
- Искробезопасные и обрабатываемые цепи могут иметь различные потенциалы.

6.3 Соединения в искробезопасной цепи

6.3.1 Искробезопасная цепь с одним подключенным устройством

Для обеспечения искробезопасности к искробезопасной цепи применяются максимальнодопустимые значения индуктивности, емкости и температуры; эти значения должны быть гарантированы при включении искробезопасного электроустройства в искробезопасную цепь.

Когда в искробезопасной цепи имеется только одно соединенное устройство, должна выполняться процедура, изображенная на рис. 6.12. Максимальнодопустимые значения для искробезопасной цепи должны быть взяты из специального сертификата; допустимая емкость C_a зависит от максимального безопасного напряжения U_0 (напряжения холостого хода), а индуктивность L_a зависит от тока короткого замыкания I_k соединенного устройства.

Для устройства и кабеля, предназначенных для опасной зоны, должны быть определены эффективная емкость и индуктивность (C_i и L_i). Для обеспечения искробезопасности проводится проверка, чтобы убедиться, что значения эффективной емкости C_i и индуктивности L_i не превышают максимальнодопустимых значений C_a и L_a .

При определении емкости кабелей обычно берется совокупная емкость. У стандартных коммерческих кабелей и линий для грубой оценки емкость кабеля принимается 200 нФ/км, а индуктивность - 1 мГ/км.

В таблице 6.1 перечислены условия, которые следует учесть при соединении искробезопасного и связанного устройства. U_{max} , I_{max} , C_{max} , и L_{max} - это максимальные значения устройства по сертификату соответствия.

Таблица 6.1 Сравнение безопасных пределов

Полевой прибор	Сравнение	Соединенное устройство
U_{\max}	\geq	U_0
I_{\max}	\geq	I_k
P_{\max}	\geq	P
C_i полевого прибора + $C_{\text{кабеля}}$	\leq	C_a
L_i полевого прибора + $L_{\text{кабеля}}$	\leq	L_a

Соблюдение максимальнодопустимой температуры обеспечивается изначально, если искробезопасное устройство удовлетворяет требуемому температурному классу. Кроме того, максимальные значения тока I_{\max} , напряжения U_{\max} и максимальнодопустимая мощность P_{\max} , которые не должны превышать во время работы, должны быть взяты из специального контрольного сертификата. Они являются основой для выбора соединенного устройства, которое должно удовлетворять безопасным значениям U_0 , I_k , и P_{\max} даже в случае неисправности.

Полевой прибор	Сравнение	Соединенное устройство
$U_{\max} = 15.5 \text{ В}$	\geq	$U_0 = 10.1 \text{ В}$
$I_{\max} = 52 \text{ мА}$	\geq	$I_k = 43 \text{ мА}$
$P_{\max} = 169 \text{ мВт}$	\geq	$P = 97 \text{ мВт}$
$C_i \text{ полевого прибора} = 125 \text{ нФ} + C_{\text{кабеля}} = 20 \text{ нФ}$	\leq	$C_a = 3 \text{ мкФ}$
$L_i \text{ полевого прибора} = 0.72 \text{ мГ} + L_{\text{кабеля}} = 0.1 \text{ мГ}$	\leq	$L_a = 20 \text{ мГ}$

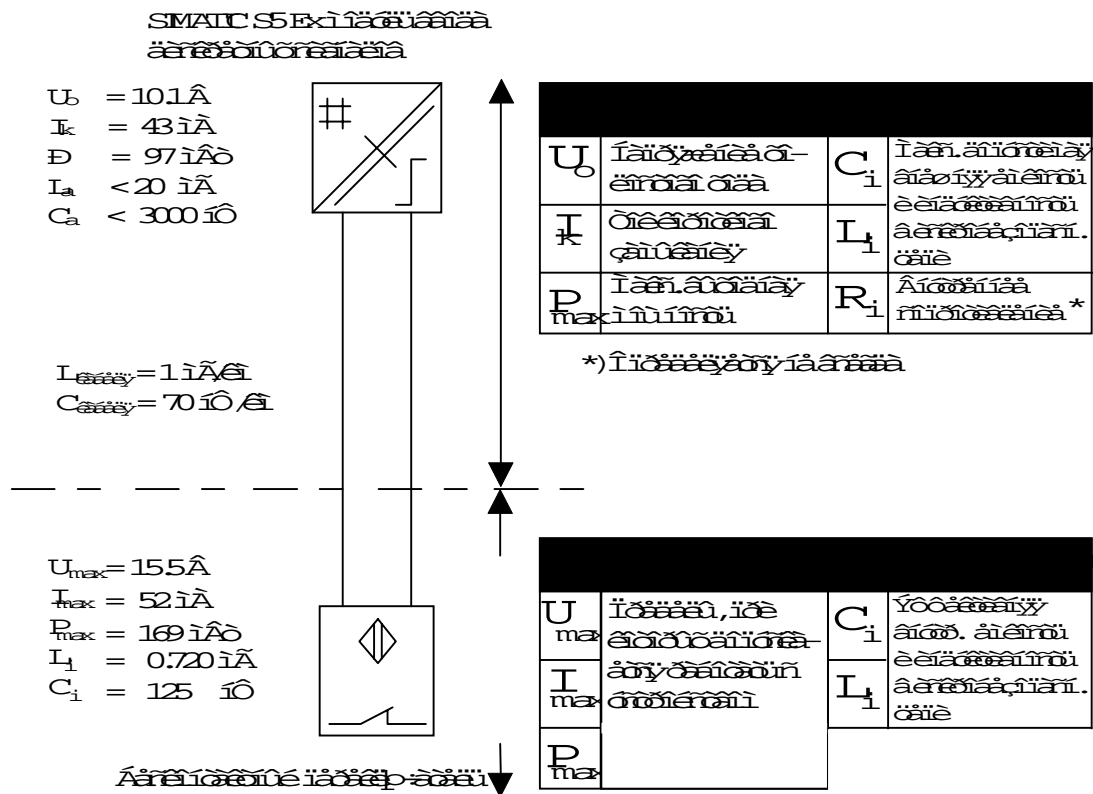


Рис. 6.12 Допустимое соединение в искробезопасной цепи

Для многих типов искробезопасных устройств специальный контрольный сертификат определяет максимальную допустимую мощность, для которой предназначено это устройство. В этих случаях для обеспечения искробезопасности связанное устройство не может отдавать большую мощность. Для электроустройств с резистивной характеристикой ограничения тока мощность рассчитывается как $P_{\max} = 1/4 U_0 \times I_k$. В зависимости от характеристики электроустройства с электронным ограничением тока могут отдавать до $P_{\max} = U_0 \times I_k$.

6.3.2 Искробезопасная цепь с двумя или более единицами соединенных электрических устройств (требования для установки в Зонах 0 и 1)

Соединение двух или более устройств.

- Метод расчета в соответствии с DIN VDE 0165/2.91 и сообщением PTB W-39

DIN VDE 0165/2.91 требует, что для искробезопасных систем с двумя или более единицами соединенных устройств должен быть составлен обзор. Для соединения искробезопасных цепей с более чем одним соединенным устройством обеспечение искробезопасности должно быть подтверждено расчетами или измерениями.

Должна быть тщательно проверена возможность суммирования токов и напряжений. Максимальнодопустимые емкость и индуктивность должны быть определены для полного напряжения и полного тока. Для Зоны 0, однако, подтверждение расчетами недостаточно. Здесь допускаются только сертифицированные соединения двух или более связанных устройств.

Компоненты соединенных устройств, используемые для ограничения тока и напряжения, не должны быть перегружены даже при неисправности; это должно быть подтверждено измерениями или расчетами. В DIN VDE 0165/2.91 приведен метод расчета для соединенных устройств с линейной вольт-амперной характеристикой.

При соединении с активным устройством, которое проявляет нелинейные вольт-амперные характеристики, DIN VDE 0165/2.91 ссылается на сообщение PTB W-39. Таким "устройством" может быть устройство с активными, искробезопасными цепями при нормальной работе или только в случае неисправности.

Из двух упомянутых методов расчета следует выбирать тот, который соответствует форме вольт-амперных характеристик всех соединенных устройств. Метод расчета на основе сообщения PTB W-39 применяется к линейным, трапециедальным и прямоугольным вольт-амперным характеристикам. В настоящее время подтверждение измерениями в соответствии с сообщением PTB W-39, выполняется только одной контрольной станцией.

- Определение вольт-амперных характеристик

Сообщение PTB W-39 делает различие между линейной, трапециедальной и прямоугольной вольт-амперными характеристиками. Все активные устройства и их эквивалентные схемы относятся к этим трем указанным типам.

Поскольку в соответствии с сообщением PTB W-39 все устройства с активными искробезопасными цепями должны быть сертифицированы, из специальных контрольных сертификатов для этих устройств должны быть взяты следующие характеристические значения:

Напряжение холостого хода	U_0
Ток короткого замыкания	I_k
Внутреннее сопротивление	R
Максимальная выходная мощность	P_{\max}

Заключение о типе характеристик может быть получено на основе этих значений (рис. 6.2):

$$P_{\max} = 1/4 U_0 \times I_k$$

- линейная характеристика

$$P_{\max} = U_0 \times I_k$$

- прямоугольная характеристика

Для того, чтобы облегчить определение характеристик для разработчика или пользователя, PTB и BVS теперь определяют внутреннее сопротивление и форму характеристики для нелинейных цепей. Если для старых устройств эти данные отсутствуют, они могут быть получены от изготовителя или от испытательной лаборатории.

- Метод расчета для линейных вольт-амперных характеристик

Метод расчета по DIN VDE 0165/2.91 применяется только к искробезопасным цепям соединенных устройств с линейной вольтамперной характеристикой. Соединение активных устройств в соответствии с DIN EN 50020/VDE 0170/0171 часть 7/5.78, часть 4 следует рассматривать как единицу устройства, подверженную неисправностям.

В сети искробезопасных цепей с двумя или более единицами соединенных устройств для каждой точки сети должны выполняться следующие условия:

1. Максимально возможное напряжение, образующееся в результате соединения цепи в одно целое или ее часть, не должно быть больше, чем вытекающее из DIN EN 50020/VDE 0170/0171 часть 7/5.78, рис. А 2.1 и А 2.2 для максимально возможного тока короткого замыкания в соответствующей точке, умноженного на коэффициент безопасности 1.5.
2. В соответствии с DIN EN 50020/VDE 0170/0171 часть 7/5.78, рис. А 1.1 и А 1.2 максимальнодопустимые индуктивность и емкость определяются из тока короткого замыкания, умноженного на коэффициент безопасности 1.5. Таким же способом для напряжения из рис. А 3.1 и А 3.2 тех же стандартов определяется максимальнодопустимая емкость.

Для взаимных соединений предлагается следующая процедура:

1. Должны быть определены максимальные значения напряжения и/или тока, возникающие в соединениях (безопасных последовательных и параллельных включениях). Эти значения служат для того, чтобы убедиться, что соединение находится в искробезопасных пределах. Для этой цели U_{\max} или I_{\max} умножается на коэффициент безопасности 1.5.
2. Максимально допустимая индуктивность выбирается из минимальных кривых зажигания для индуктивных цепей; максимально возможный ток короткого замыкания соединения образуется из суммы максимальных токов соединенных устройств, умноженной на коэффициент безопасности 1.5.

3. Максимально допустимая емкость, как и в пункте 2, выбирается из минимальных кривых зажигания для емкостных цепей. Возможная сумма максимальных напряжений должна также быть умножена на коэффициент безопасности 1.5.
4. Максимальная длина соединительного кабеля, например, между устройствами может быть получена из максимально допустимых значений внешней емкости и внешней индуктивности. В случае стандартных коммерческих кабелей и линий емкость кабеля в первом приближении берется 200 нФ/км, а индуктивность - 1 мГ/км.

Максимально допустимый ток короткого замыкания определяется минимальными кривыми зажигания в DIN EN 50020 из максимально возможного напряжения, образующегося в результате соединения сети в единое целое и умноженного на коэффициент безопасности 1.5 (приложение D).

Рассчитанные таким образом характеристические значения определены в предположении, что действуют максимальные значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания, указанные на аттестационной отметке или контрольном сертификате. Такой подход следует использовать для простых, наглядных соединений. Он основан на наименее предпочтительных условиях и приводит к высокой степени надежности.

Пример, демонстрирующий искробезопасное параллельное включение модуля SIMATIC S5 Ex

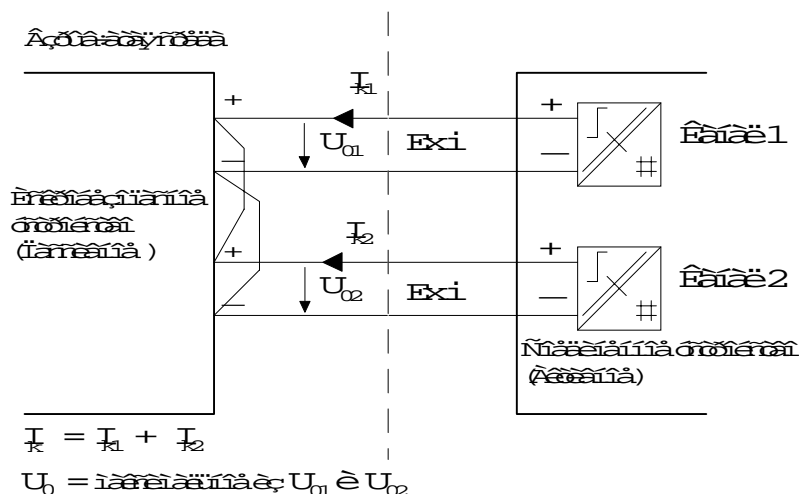


Рисунок 6.13 Параллельное включение двух выходов (возможно только суммирование токов)

Если, например, два выхода модуля вывода дискретных сигналов SIMATIC S5 Ex с линейной характеристикой подключаются параллельно к искробезопасному пассивному электрическому устройству, то на основе характеристических данных устройства ($I_k=43$ мА, $U_0=10.1$ В, $P_{\max}=97$ мВт) с использованием минимальных кривых зажигания должно быть проверено следующее:

$$I_k = I_{k1} + I_{k2} = 86 \text{ мА}$$

$$I_{k \text{ безопасн.}} = I_k \times \text{коэффициент безопасности } 1.5 = 129 \text{ мА}$$

$$U_0 = U_{0\max} = 10.1 \text{ В (при 2 идентичных напряжениях, иначе наибольшее)}$$

$$U_{0 \text{ безопасн.}} = U_0 \times \text{коэффициент безопасности } 1.5 = 15.15 \text{ В}$$

Ток и напряжение, рассчитанные с учетом коэффициента безопасности, являются основой для определения величин, обеспечивающих искробезопасность, из минимальных кривых зажигания.

Индуктивная минимальная кривая зажигания IIS (рис. 6.5) отображает функцию $L=f(I)$. Из кривой видно, что для

$$I_{k \text{ безопасн.}} = 129 \text{ мА} \quad \text{индуктивность } L \leq 5 \text{ мГ}$$

искробезопасность не нарушается.

Емкостная минимальная кривая зажигания (рис. 6.4) отображает функцию $C=f(U)$. Из кривой видно, что для

$$U_{0 \text{ безопасн.}} = 15.15 \text{ В} \quad \text{емкость } \leq 3 \text{ мкФ}$$

искробезопасность не нарушается.

Максимальнодопустимая емкость кабеля равна полученной величине без внутренней емкости устройства. Емкость кабеля следует рассматривать как результирующую емкость, беря за основу емкость на единицу длины 200 нФ/км.

Пример, демонстрирующий искробезопасное последовательное включение модуля SIMATIC S5 Ex

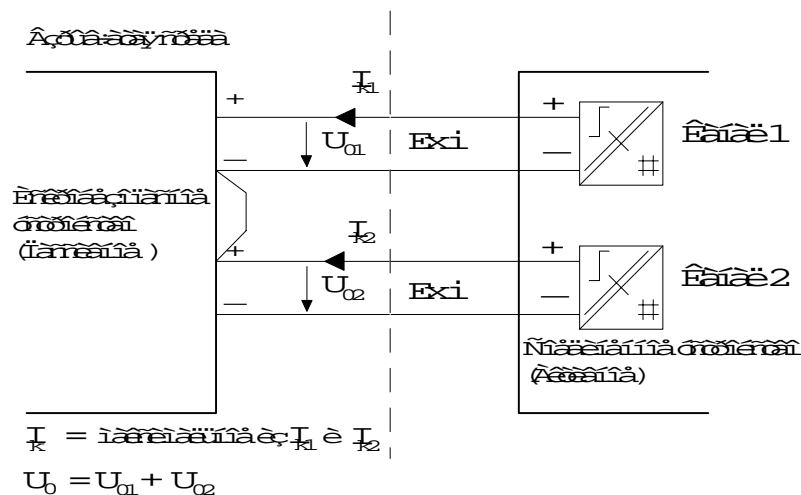


Рисунок 6.14 Последовательное включение двух выходов (возможно только суммирование токов)

При последовательном включении двух выходов модуля вывода дискретных сигналов SIMATIC S5 Ex с линейной характеристикой и обратной полярностью происходящее здесь суммирование напряжений приводит к увеличению максимального безопасного напряжения в искробезопасной цепи. Суммирование

токов здесь невозможно, т.к. токи (и напряжения) инвертированы. В качестве максимального безопасного тока можно использовать наибольший из I_{k1} и I_{k2} .

Максимальнодопустимые значения L_a и C_a нужно взять из минимальных кривых зажигания для полученных значений токов и напряжений.

Демонстрация искробезопасности при последовательной или параллельной цепи.

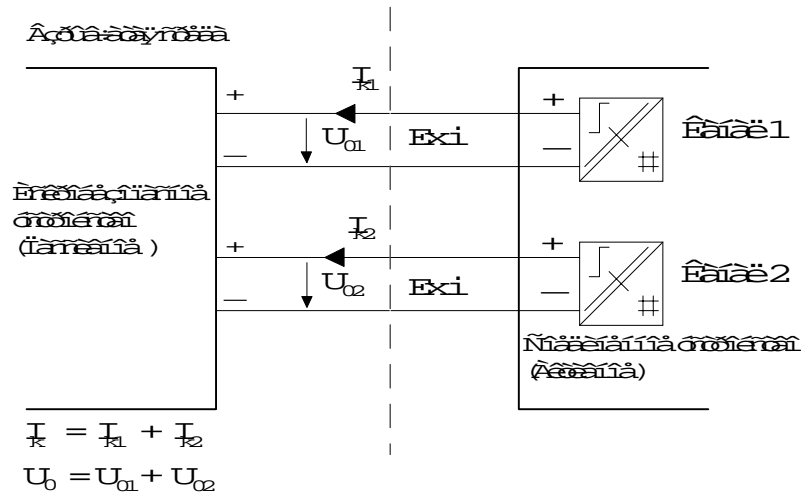


Рисунок 6.15 Последовательное включение двух выходов; возможно только суммирование напряжений. При параллельном включении возможно только суммирование токов.

Замечание

Если соединенные устройства (защитные барьеры, изолирующие усилители) для модулей SIMATIC S5 соединены с неопределенным потенциалом (см. рис. 6.20), или если защитные барьеры предназначены для изменяющегося потенциала, то в случае неисправности они могут рассматриваться как включенные последовательно или параллельно. Тогда суммирование напряжений и токов следует рассматривать отдельно и брать за основу наименее предпочтительное значение.

Поскольку модули SIMATIC S5 не имеют четкой связи по потенциалу, суммирование напряжений и токов следует рассматривать отдельно и брать за основу наименее предпочтительное значение.

Метод расчета в соответствии с сообщением PTB W-39

Введение к сообщению PTB W-39 ссылается на некоторые основные положения:

1. Метод, представленный в сообщении PTB W-39, в настоящее время следует использовать только для групп взрыва IIB и IIC, но для всех типов вольт-амперных характеристик в соответствии с рис.6.2.

2. При проектировании искробезопасных цепей количество сгруппированных и взаимосоединенных электроустройств следует брать как можно меньшим.
3. Для соединения искробезопасных цепей с двумя или более источниками, в которых хотя бы одно устройство имеет нелинейную вольт-амперную характеристику, результирующая характеристика для напряжения и/или тока должна определяться графическим суммированием в соответствии с соединением.
4. Для Зоны 0 все устройства и их взаимные соединения должны быть специально сертифицированы для работы в этой зоне.
5. Предельные кривые в диаграммах минимальных кривых зажигания были определены экспериментально контрольным искровым устройством упомянутым в EN 50020.
6. По соображениям безопасности функционально пассивные входы графопостроителей, преобразователей и других устройств могут вести себя как активные источники в случае неисправности. Их максимальные значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания, определенные в специальном контрольном сертификате, должны быть приняты во внимание.

Сообщение РТВ W-39 рассматривает пять различных случаев взаимных соединений и их результирующих характеристик.

В следующих диаграммах

- результирующие характеристики напряжения для последовательных включений 1 и 2 (рис.6.16 и 6.17),
- результирующие характеристики токов для параллельных включений 1 и 2 (рис. 6.18 и 6.19),
- результирующие характеристики токов и напряжений для последовательных или параллельных включений 1 и 2 (рис. 6.20)

показаны отдельно, в соответствии с неисправностью.

а). Последовательное включение 1

При такой конфигурации цепи возможно только суммирование напряжений, независимо от полярности источников. Результирующая характеристика, показанная пунктирной линией, образуется графическим суммированием: суммированием соответствующих значений напряжений для каждого значения тока.

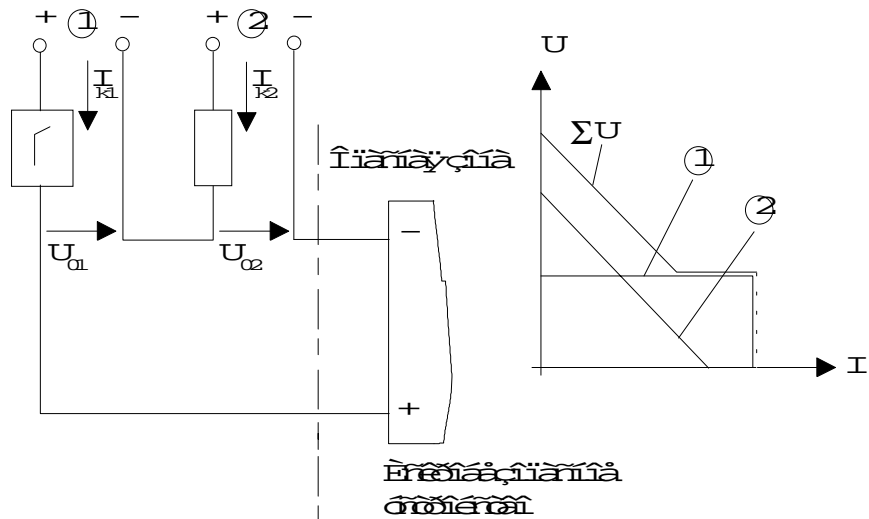


Рисунок 6.16 Последовательное включение 1

б). Последовательное включение 2

Если общие клеммы обоих источников подключены к нагрузке, возможно только суммирование токов, если полярность источников установлена безопасно, как изображено на рис. 6.17.

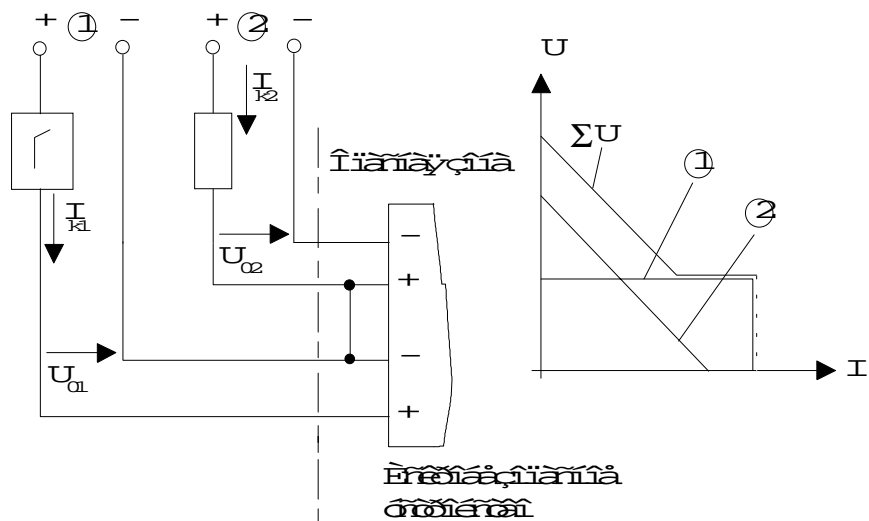


Рисунок 6.17 Последовательное включение 2.

с). Параллельное включение 1

В схеме источников, показанных на рис. 6.18, возможно только суммирование токов, когда два вывода у двухполюсных источников соединены друг с другом. В этом случае суммирование напряжений невозможно, и результирующая характеристика получается графическим суммированием отдельных значений токов.

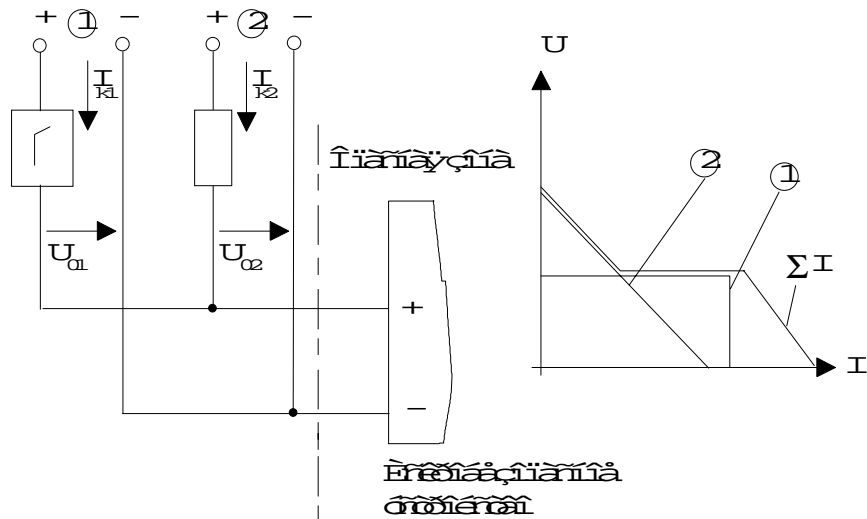


Рисунок 6.18 Параллельное включение 1.

d). Параллельное включение 2

Если два источника соединены только одним выводом, то возможно только суммирование токов если полярность источников установлена безопасно, как изображено на рис. 6.19. В противном случае следует рассматривать суммирование напряжений и токов.

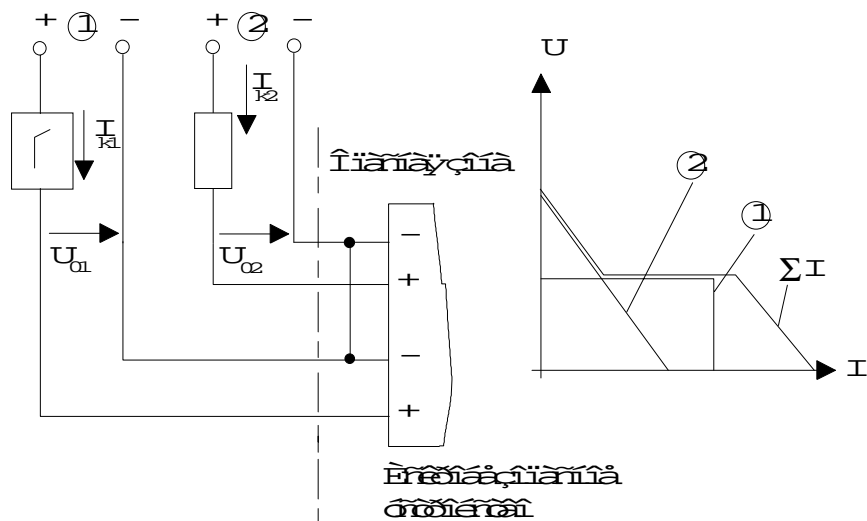


Рисунок 6.19 Параллельное включение 2

е). Последовательное или параллельное включение

Когда между двумя или более цепями могут быть сделаны произвольные соединения, как показано на рис.6.20, можно ожидать суммирование напряжений и токов. Однако, это не может произойти одновременно, и результирующая характеристика для суммирования напряжения и тока должна строиться в два этапа.

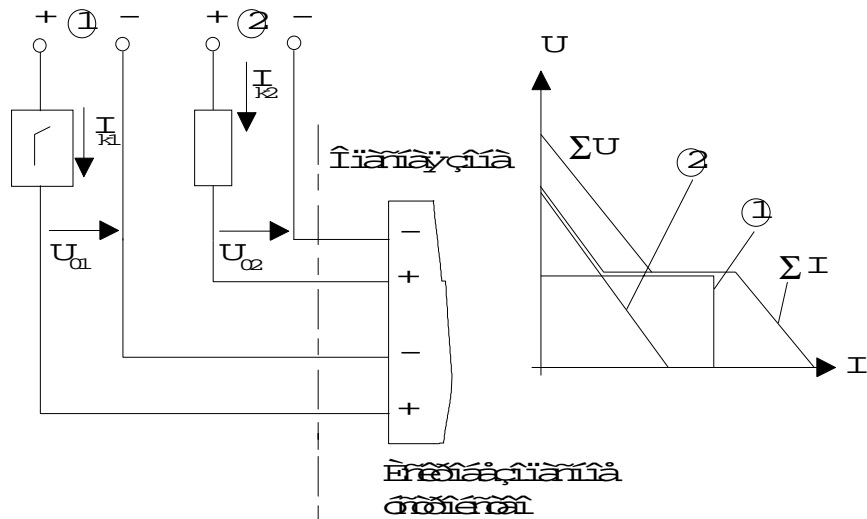


Рисунок 6.20 Последовательное или параллельное включение

Эта процедура всегда необходима, когда условия соединения неясны, или, когда имеются цепи с более, чем двумя проводниками. Тогда результат всегда безопасен.

Для каждой группы взрыва IIB и IIC сообщение РТВ предлагает пять диаграмм предельных кривых с различными полными индуктивностями искробезопасной цепи, в соответствии с таб.6.2.

Таблица 6.2. Распределение минимальных кривых зажигания по группам взрыва и индуктивности

Группа взрыва	Допустимая индуктивность L_a
IIC	0.15 мГ
	0.5 мГ
	1 мГ
	2 мГ
	5 мГ
IIB	0.5 мГ
	1 мГ
	5 мГ
	10 мГ
	25 мГ

На рис. 6.21 показана минимальная кривая зажигания для группы взрыва IIC с максимальной индуктивностью 1 мГ в искробезопасной цепи.

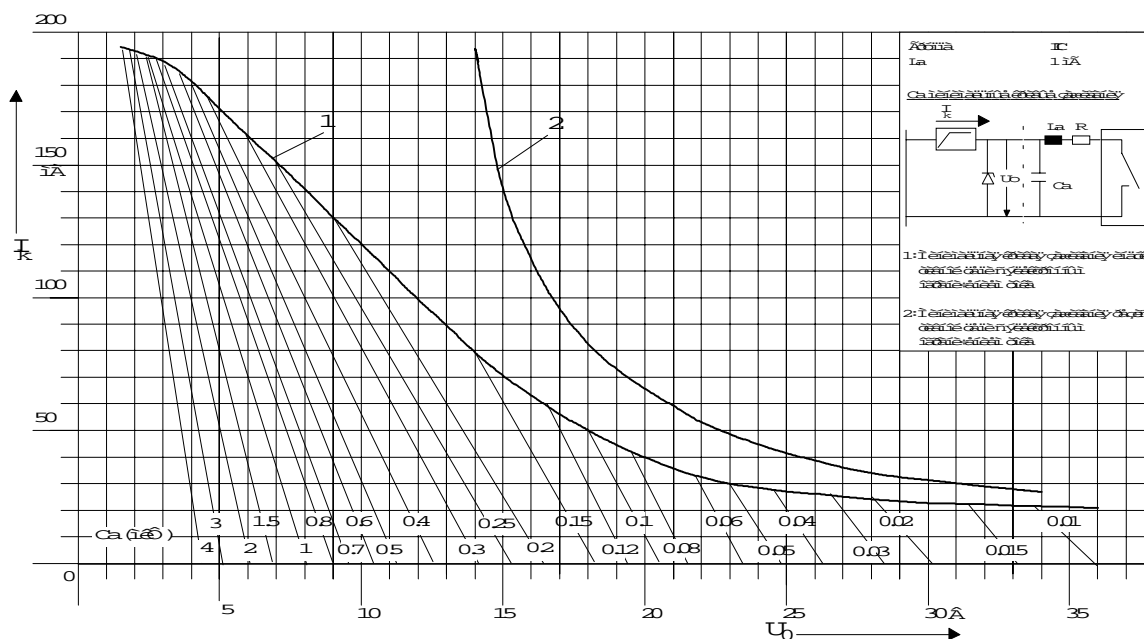


Рисунок 6.21 Диаграмма минимальных кривых зажигания для соединения с цепью с электронным ограничением тока. (С учетом коэффициента безопасности 1.5).

Каждая минимальная кривая зажигания включает три компонента:

- Предельную кривую для индуктивной цепи (кривая 1)
- Предельную кривую для резистивной цепи (кривая 2)
- Семейство кривых для определения максимальнодопустимой емкости C_a

Когда группа взрыва и максимальная полная индуктивность искробезопасной цепи определены, на соответствующую минимальную кривую зажигания накладывается полученная графически результирующая характеристика соединения. Искробезопасность демонстрируется в три этапа:

1. Искробезопасность резистивной цепи

Результирующая характеристика не должна пересекать кривую 2. Чем больше значение максимальной полной индуктивности L_a цепи, тем ниже значение напряжения и тока для той же группы взрыва. Это означает, что, если кривая 2 пересекается результирующей характеристикой, индуктивность должна быть уменьшена для того, чтобы сохранить искробезопасность резистивной цепи.

2. Искробезопасность индуктивной цепи

Результирующая характеристика не должна пересекать кривую 1. Если необходимо допустить большую индуктивность, сохраняя в то же время искробезопасность резистивной цепи, в жертву приносится допустимая емкость искробезопасной цепи.

3. Определение максимальнодопустимой емкости

Максимальная емкость искробезопасной цепи может быть считана с семейства кривых C_a . Максимальнодопустимая емкость соответствует предельной кривой C_a с наибольшим значением C_a , которое еще не пересекается результирующей характеристикой.

При подтверждении искробезопасности методом характеристик должны быть учтены дополнительные пояснения (п.3.3 сообщения РТВ W-39). Таким образом, в чисто резистивных цепях (с общей индуктивностью меньше 10 мкГ) может быть превышена кривая 1, но не кривая 2.

Использование метода расчета по сообщению РТВ W-39

На рис. 6.22 показано соединение трех электроустройств (блока питания, графопостроителя и электронного индикатора) с одним искробезопасным устройством (анализатором) с безопасными характеристическими значениями. При нормальной работе блок питания является активным источником. В целях безопасности характеристические значения трех соединенных устройств должны быть проверены в условиях неисправности.

В зависимости от неисправности две результирующие характеристики, показанные на рис.6.23, должны быть определены для суммирования токов и напряжений.

Когда эти две результирующие характеристики накладываются на диаграмму предельных кривых для группы взрыва IIB и полной индуктивностью $L_a = 1$ мГ, становится ясно, что эта цепь искробезопасна при следующих максимальных значениях:

$$U_o = 28.7 \text{ В}$$

$$I_k = 264 \text{ мА}$$

$$P = 1.9 \text{ Вт}$$

$$L_a = 1 \text{ мГ}$$

$$C_a = 120 \text{ нФ.}$$

Эти значения должны быть взяты из рис.6.24.

Рисунок 6.22 Пример соединения трех соединенных устройств с искробезопасным устройством

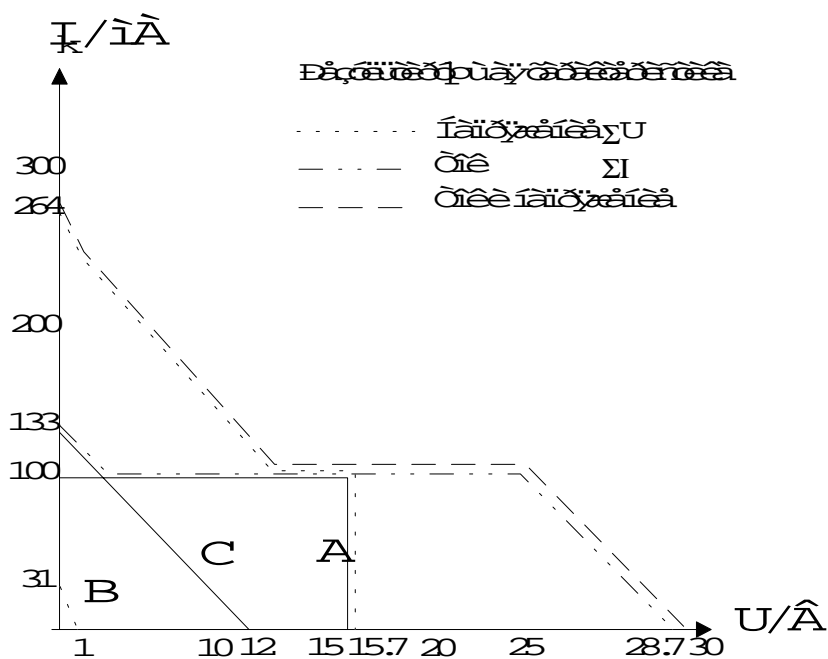


Рисунок 6.23 Результирующие характеристики схемы соединений на рис. 6.19

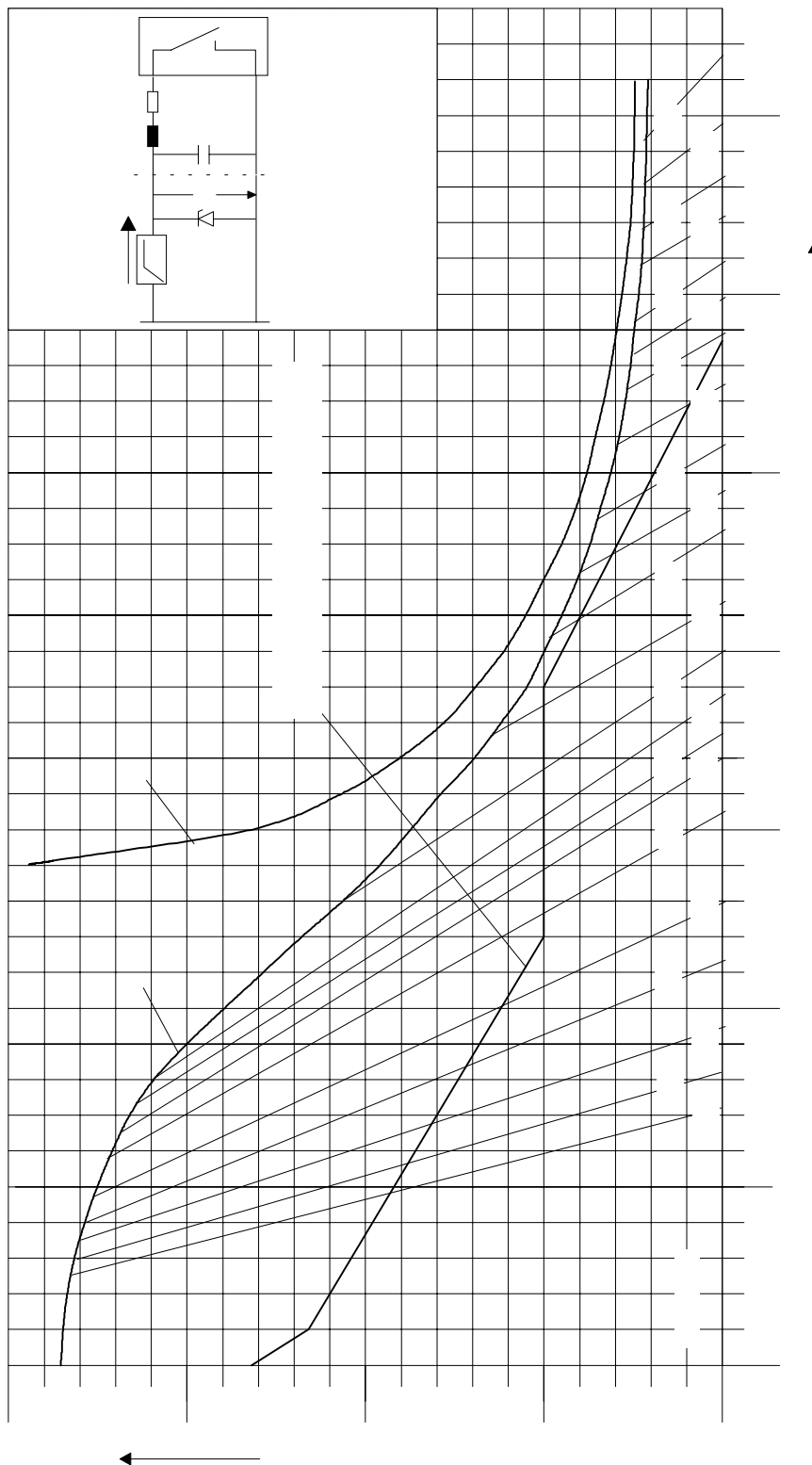


Рисунок 6.24 Предельные кривые для подключения к схеме с электронным ограничением тока
(С учетом коэффициента безопасности 1.5)