

## Защита приборов и средств автоматизации от высоковольтных импульсов напряжения

### Необходимость защиты

Отрицательными последствиями воздействия высоковольтных импульсов напряжения, возникающих в электропроводке систем автоматизации, являются сбои в функционировании, выход из строя приборов и аппаратных средств нижнего уровня систем, выполненных с применением чувствительных микропроцессорных компонентов и интегральных схем. Причинами возникновения высоковольтных импульсов напряжения являются не только электромагнитные импульсы разрядов молний, но и «всплески» напряжения, возникающие в результате различных переходных процессов в аппаратуре или наводимые в цепях приборов электромагнитным импульсом искусственного происхождения за счёт излучений от высоковольтных линий электропередач, сетей электрифицированных железных дорог, электросварочных аппаратов и т.п. Последствия для организаций, эксплуатирующих оборудование, которое подверглось подобному воздействию, могут быть очень серьёзными, так как простой системы, определение места повреждения и повторный ввод в эксплуатацию приводят к огромным материальным затратам.

Для защиты электроустановок от грозовых перенапряжений, возникающих при прямых ударах молнии, применяются молниеотводы, молниеотводные сетки, направляющие ток разряда по магистрали заземления, вентильные разрядники [1]. С этой же целью используется и клетка Фарадея, которая обеспечивает металлическим шкафом с установленной аппаратурой постоянную высокую проводимость на пути тока разряда к земле в обход чувствительной аппаратуры и рассеивание нежелательных токов по многочисленным цепям заземления.

В результате разряды нейтрализуются ещё до того, как они пройдут в опасной близости от защищаемой аппаратуры.

Тем не менее для незащищённых электронных систем сохраняется опасность неожиданного уничтожения, так как сверхмощные пики напряжения являются разовыми труднопредсказуемыми явлениями, выявляемыми лишь специальным сложным измерительным оборудованием [2]. Например, в Германии ежегодно фиксируется около 700 000 грозовых разрядов. Они представляют основную угрозу для незащищённых территориально распределённых промышленных объектов и систем передачи сигналов. К подобным объектам в первую очередь относятся нефте- и газопроводы, очистные сооружения, резервуарный парк, разгрузочные терминалы нефтеналивных танкеров и др.

### Наведённые токи — источник наибольшей опасности

В идеальном случае в результате разряда молнии молниеотвод направляет всю энергию разряда в точку нулевого потенциала через свой заземлитель. Длительность разряда молнии составляет всего лишь около 0,3 мс при сред-

нем значении силы тока 45 кА и напряжения до 400 МВ (400 000 000 В!). В табл. 1 приведены типовые параметры разряда молнии [3].

Впрочем, наибольшую опасность представляет не прямое воздействие энергии, которая отводится через заземляющее устройство на землю, а нарастание тока и напряжения за чрезвычайно короткое время и возникающие в результате физические эффекты взаимной связи. В молниевом канале скорость нарастания напряжения составляет 12 кВ, а значения тока — до 200 кА за микросекунду. Быстрое изменение тока и его высокое значение приводят к наводке в рядом размещённой электропроводке вторичных токов до 5 кА с напряжением до 10 кВ. Так как электропроводка систем автоматизации выполняется кабелями и проводами, проложенными на большие расстояния, последствия от таких наводок и размеры подвергаемых опасности зон оказываются значительными. Например, высоковольтные высокочастотные импульсы, наведённые в проводниках датчика, способны воздействовать не только на датчик, но и через его входные цепи на систему управления, выполненную с применением чувствительных микропроцессорных устройств, для разрушения которых достаточно энергии от единиц до сотни микроджоулей. Возможные последствия варьируются от разрушения датчика до повреждения входных узлов и даже всей системы управления.

### Эффективная защита для цепей контрольно-измерительного оборудования

Специалисты фирмы Pepperl+Fuchs предлагают приборы, обеспечивающие эффективную защиту аппаратных

Таблица 1. Типовые параметры разряда молнии

Параметр	Значение
Средняя мощность разряда	более 1 МВт
Пиковое значение разрядного тока	около 200 кА
Скорость нарастания тока	200 кА/мкс
Ток продолжительного разряда	более 10 кА
Напряжение, наводимое между линиями	400 МВ
Скорость нарастания напряжения	12 кВ/мкс
Длительность разряда молнии	300 мкс



Рис. 1. Защитное устройство серии FS-LB в стальном корпусе

средств систем автоматизации от импульсных грозовых (молниевых) и коммутационных перенапряжений. Модуль защитного устройства состоит из газонаполненного разрядника и ограничителя напряжения: газонаполненные искровые разрядники отводят значительный ток в землю, полупроводниковые ограничители напряжения ограничивают напряжение до допустимого уровня. Данные устройства применяются для защиты входных цепей шкафов управления, а также для защиты цепей связанного электрооборудования, установленного непосредственно в технологической зоне. Эти модули отличаются простотой установки, небольшими габаритными размерами, способностью проводить импульсный ток величиной до 10 кА и длительным сроком службы. Защитные барьеры от разрядов молнии могут быть также установлены в искробезопасных цепях (ИБЦ) и непосредственно во взрывоопасных зонах класса 2 для защиты аппаратных средств нижнего уровня систем автоматизации. Поэтому существуют варианты исполнения защитных устройств для гальванически изолированных искробезопасных и искроопасных цепей, а также для барьеров искрозащиты на стабилизаторах.

**ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИГНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

Модули защиты от грозовых перенапряжений (Surge Protection Barrier — SPB) фирмы Pepperl+Fuchs предназна-

чены для обеспечения безопасности оборудования, подключённого к линиям измерения и управления. SPB уменьшают высоковольтные напряжения, наводимые разрядами молнии, посредством ограничения напряжения до безопасного уровня и отводят разрушительные импульсы тока через магистраль заземления. Эти достаточно гибкие защитные устройства могут устанавливаться как в залах управления (диспетчерских), так и непосредственно на технологическом оборудовании.

Модули обеспечивают защиту от несимметричных (между проводом и корпусом) и симметричных (между проводами) наведённых напряжений и гарантируют непрерывность технологического процесса.

Защитные устройства серии FS-LB выполнены в корпусах из высоколегированной стали. Они ввинчиваются в корпуса приборов и устройств нижнего уровня систем автоматизации и имеют исполнения с разнообразными типами резьбы (рис. 1). Защитное устройство можно ввинтить в свободный кабельный ввод на защищаемом приборе, а три его провода присоединить к соответствующим контактным площадкам в клеммном отсеке (рис. 2). Устройства серии К-LB конструктивно выполнены в корпусах шириной 12,5 мм с зажимами и предназначены для защиты систем управления

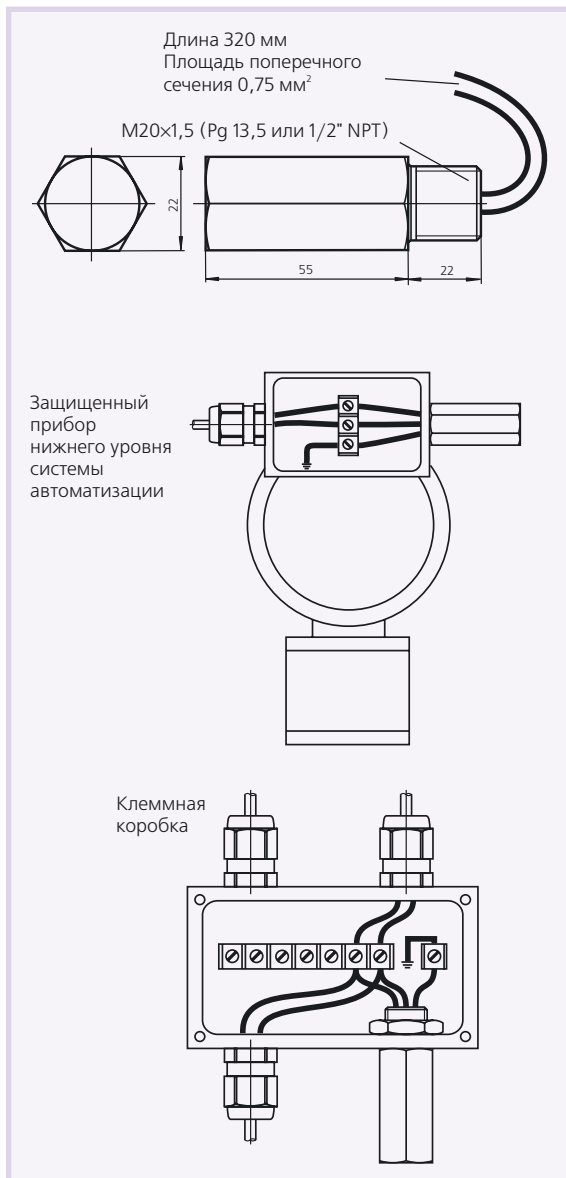


Рис. 2. Габаритные размеры устройства F\*-LB-I и примеры схем подключения его внешних цепей при установке устройства на корпусе защищаемого прибора и в клеммной коробке



Пример установки защитного устройства серии FS-LB на датчике давления серии Varcon фирмы Pepperl+Fuchs



Рис. 3. Защитные устройства серии К-LB

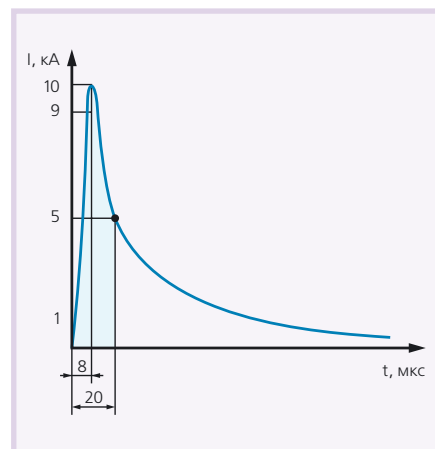


Рис. 4. Импульс тока, пропускаемый защитными устройствами фирмы Pepperl+Fuchs при срабатывании: номинальный импульсный разрядный ток 10 кА, время срабатывания 1 нс (симметричный ток)

Таблица 2. Электрические параметры защитных устройств серий К-ЛВ и F\*-ЛВ

Параметр	Серия		Исполнение в стальном корпусе для вворачивания в корпус защищаемого устройства
	Стандартное исполнение		
	К-ЛВ-*30(6)G	К-ЛВ-*30(6)	F*-ЛВ-*
Рабочее напряжение	≤ 30 В (6 В)		≤ 48 В
Рабочий ток	≤ 250 мА		≤ 250 мА
Ток утечки	≤ 5 мкА (≤ 10 мкА)		≤ 5 мкА
Допустимое напряжение	≤ 45 В (≤ 12 В)		≤ 85 В
Напряжение пробоя изоляции	90 В	500 В	500 В

и модулей, установленных в шкафах (рис. 3).

Можно выделить следующие технические характеристики и особенности модулей серии К-ЛВ:

- импульсный ток (рис. 4), пропускаемый при срабатывании, составляет 10 кА (8/20 мкс) в соответствии с ССИТТ и IEC 60060-1 (защитное устройство Category C);
- модули применяются для всех типов цепей измерения и управления;
- до двух каналов в одном корпусе;
- простая и быстрая установка;
- соединительный зажим для проводов с площадью поперечного сечения до 2,5 мм<sup>2</sup>;
- монтаж на DIN-рельс и соединение через него с магистралью заземления;
- пригодны для размещения в диспетчерских и непосредственно на техно-

логической установке (на нижнем уровне систем автоматизации);

- сертифицированы для применения в искробезопасных цепях; изоляция между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования не менее 500 В;
- являются самовосстанавливающимися и не требуют текущего технического обслуживания.

Электрические параметры модулей серий К-ЛВ и F\*-ЛВ представлены в табл. 2.

Для тестирования защитных устройств, применяются стандартные испытательные импульсы. Эффективность защитных устройств оценивается по мощности рассеивания и уровню ограничения напряжения. Форма и параметры испытательных импульсов определены в стандартах IEC 60060-1/

DIN VDE 0432, part 2 (рис. 5) и в ГОСТ 50007-92 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии».

Основными токовыми параметрами защитных модулей являются номинальный импульсный разрядный ток ( $I_{SN}$ ) и максимальный импульсный ток ( $I_{Smax}$ ): под первым понимают максимальное значение тока, импульс которого имеет форму в соответствии с требованиями перечисленных стандартов (8/20 мкс) и который может протекать через защитное устройство 5 раз в течение 30 с без его повреждения, а под вторым — максимальное значение тока с такой же формой импульса (8/20 мкс), но который может пройти через защитное устройство только однократно без его повреждения.

На рис. 6 приведены электрические схемы устройств серий К-ЛВ-\*30 и К-ЛВ-\*30G, из которых видно, что в качестве защитных компонентов в данных изделиях применяются газонаполненные разрядники и полупроводниковые ограничители напряжения. Импульсный дроссель используется как искусственная линия задержки, что обеспечивает последовательное срабатывание ограничителей напряжения от более мощных (газонаполненных разрядников) до менее мощных (полупроводниковых ограничителей).

Порядок применения модулей SPB для защиты выносных устройств систем автоматизации иллюстрирует рис. 7.

### ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

В качестве разделительных элементов между искробезопасными и искроопасными цепями часто применяются специальные защитные барьеры, которые состоят из шунтирующих стабилизаторов и последовательно включённых резисторов и предохранителей [4]. Однако барьеры могут быть выведены из строя высоковольтными импульсами напряжения, наводимыми в цепях электрооборудования грозowymi разрядами или промышленными (коммутационными) помехами. Эффективным решением для их защиты от наведённых импульсов напряжения и бросков тока является применение модулей SPB [5]. Эти модули должны быть установлены на отдельной монтажной рейке и подключены к барьерам искрозащиты че-

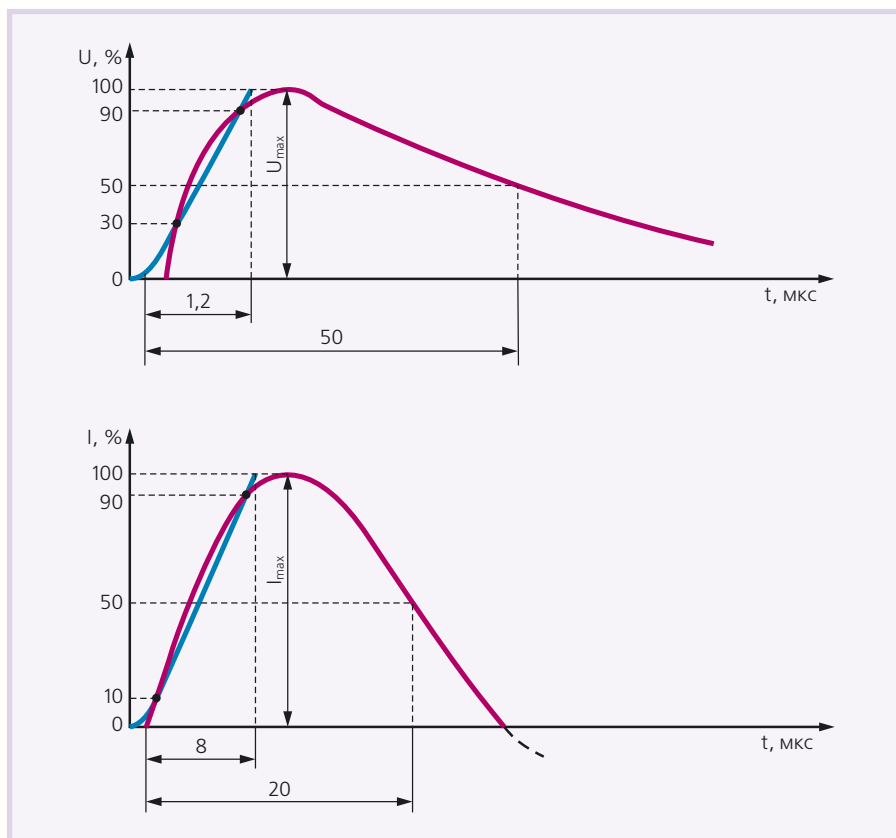


Рис. 5. Импульсы напряжения 1,2/50 мкс и тока 8/20 мкс в соответствии с IEC 60060-1/ DIN VDE 0432, part 2

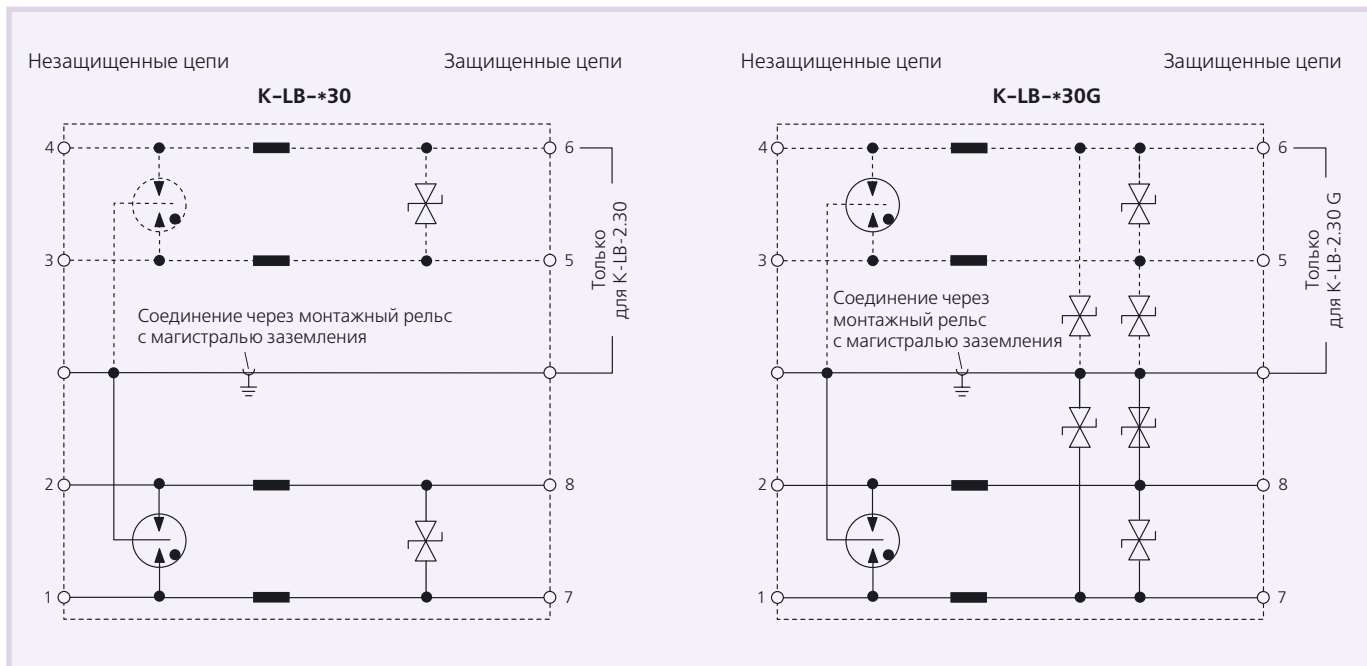


Рис. 6. Электрические схемы устройств ограничения напряжения серий K-LB-\*30 и K-LB-\*30G

рез соединители, которые предназначены для коммутации цепей устройств, размещённых во взрывоопасных зонах.

Так как модули SPB являются простым электрооборудованием [4], то установкой их во взрывоопасной зоне можно также защитить чувствительные приборы и средства нижнего уровня систем автоматизации, размещённые во взрывоопасных зонах класса 2. Часто в подобных случаях целесообразно применять модули SPB во взрываза-

щищённом или пожаробезопасном исполнении.

**ГАЛЬВАНИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ЦЕПИ С ЗАЩИТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ**

Наиболее распространённым и эффективным способом разделения искробезопасных и искроопасных цепей является применение барьеров искрозащиты, обеспечивающих галь-

ваническую изоляцию между искроопасными и искробезопасными цепями посредством разделительных барьеров с трансформаторной гальванической изоляцией (Transformer Isolated Barrier — TIB) [6].

Модули SPB фирмы Pepperl+Fuchs обеспечивают изоляцию между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования не менее 500 В переменного тока (действующее значение). Они являются идеальным защитным средством для TIB, и соединение двух таких защитных устройств

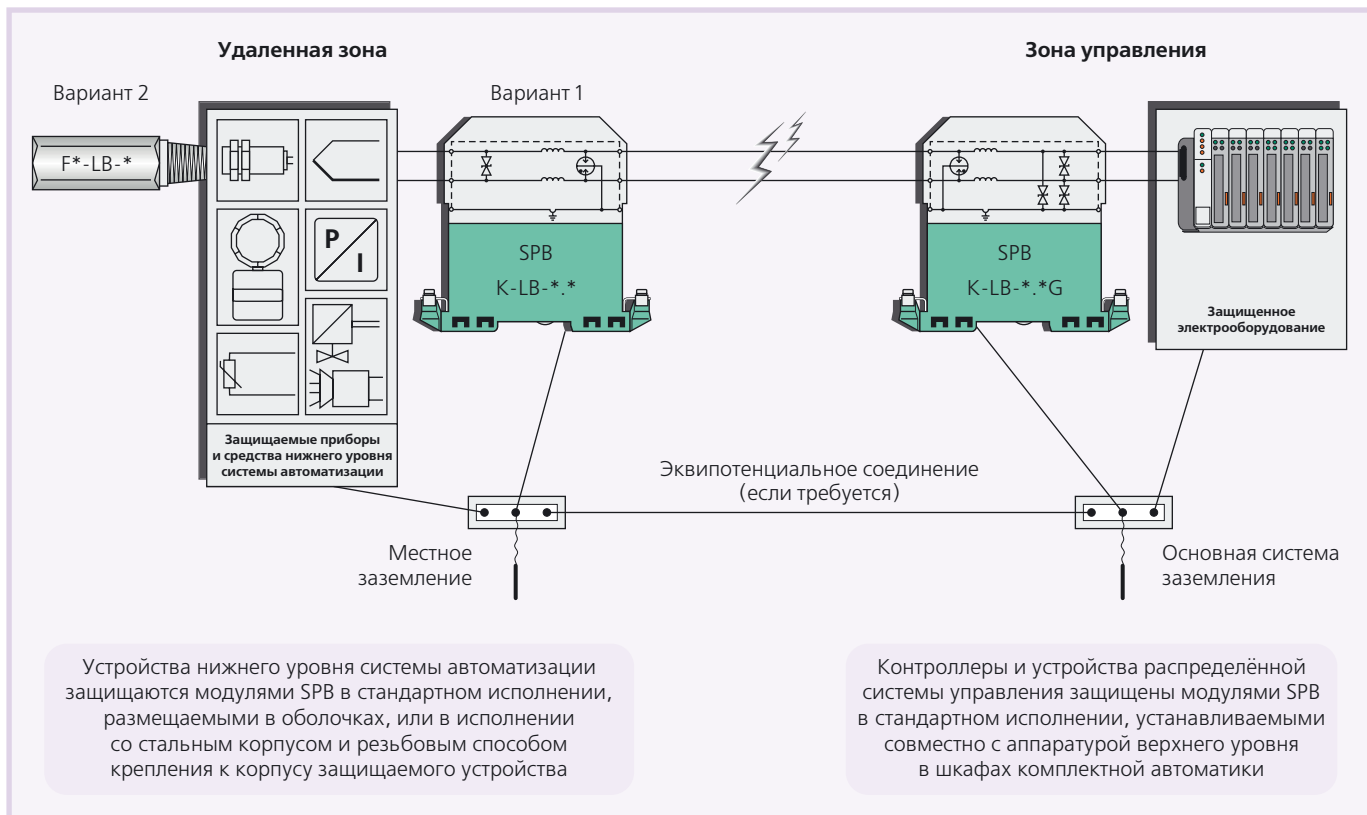


Рис. 7. Применения модулей SPB для защиты выносных устройств систем автоматизации

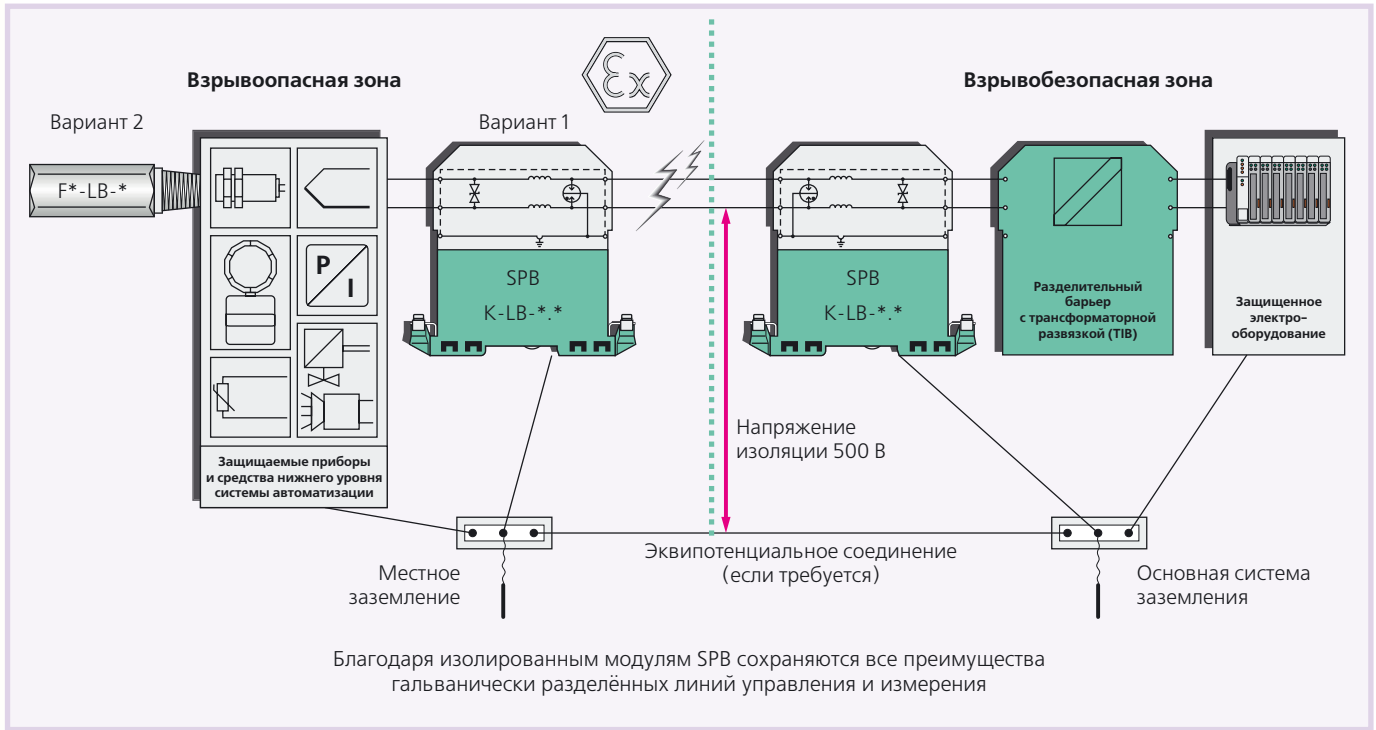


Рис. 8. Применение модулей SPB с электрическими аппаратами, приборами и другими средствами автоматизации, установленными во взрывоопасных зонах

(рис. 8) гарантирует двухпроводной сигнальной линии связи надёжную гальваническую изоляцию от контура заземления.

Выбор модулей серий K-LB и F\*-LB для конкретных задач, включая ограничение напряжения для барьеров искрозащиты или модулей гальванической изоляции, можно сделать с помощью табл. 3.

**ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ НА ПЕРЕДНЕЙ ПАНЕЛИ TIB- И RPI-МОДУЛЕЙ**

Защитные устройства серии P-LB выполнены специально для разделительных усилителей, модулей источников питания и выносных изолирующих устройств K-системы [6]. Они крепятся посредством защёлкивания



Защитное устройство серии P-LB, установленное на модуле K-системы

на передней панели установленных в шкафы модулей (технология Snap-On), так что модуль и защитное устройство составляют единую конструкцию (рис. 9). Такая технология оправдывает себя для обеспечения простой замены устройств-ограничителей напряжения или возможности наращивания их числа в процессе эксплуатации: пользователь должен только предусмотреть свободное место для заземляющей планки и 80 мм для каждого

планируемого модуля ограничителя напряжения.

Модули, устанавливаемые по технологии Snap-On, являются одним из новейших дополнений к семейству ограничителей напряжения фирмы Pepperl+Fuchs. Эти модули, применяемые в искробезопасных цепях и обеспечивающие изоляцию между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования до 500 В переменного тока (действи-

Таблица 3. Модули ограничителей напряжения серий K-LB и F\*-LB для применений с барьерами искрозащиты и модулями TIB (трансформаторной гальванической изоляции) и для стандартных применений

Приборы и средства нижнего уровня систем автоматизации (изоляция между цепью и контуром заземления не менее 500 В переменного тока)	Модули ограничителей напряжения
Датчики, механические контакты, клапаны, светодиодные индикаторы, устройства звуковой сигнализации	K-LB-1(2).30
Интеллектуальные первичные измерительные преобразователи, интеллектуальные электропневматические преобразователи	K-LB-1(2).30 F*-LB-*
Термометры сопротивления, термоэлектрические преобразователи, фотоземленты	K-LB-1(2).6
<b>Барьеры искрозащиты на стабилизаторах</b>	<b>Модули ограничителей напряжения для барьеров искрозащиты</b>
Дискретный вход, дискретный выход	K-LB-1(2).30G
Аналоговый вход, аналоговый выход	K-LB-1(2).30G
Низковольтный вход	K-LB-1(2).6G
<b>Модули TIB (изоляция между цепью и контуром заземления не менее 500 В переменного тока)</b>	<b>Модули ограничителей напряжения для защиты модулей TIB</b>
Дискретный вход, дискретный выход	K-LB-1(2).30
Аналоговый вход, аналоговый выход	K-LB-1(2).30
Низковольтный вход	K-LB-1(2).6



**Рис. 9. Технология Snap-On: защёлкивание защитного модуля на передней панели установленного на DIN-рейке модуля К-системы**

ющее значение), являются идеальным средством защиты от импульсов напряжения для модулей TIB и RPI (Remote Process Interface) [6]. В основе защиты — также ограничение напряжения до безопасного уровня и отвод импульсов тока на землю (рис. 10). Модули P-LB устанавливаются методом прищелкивания к защищаемым модулям.

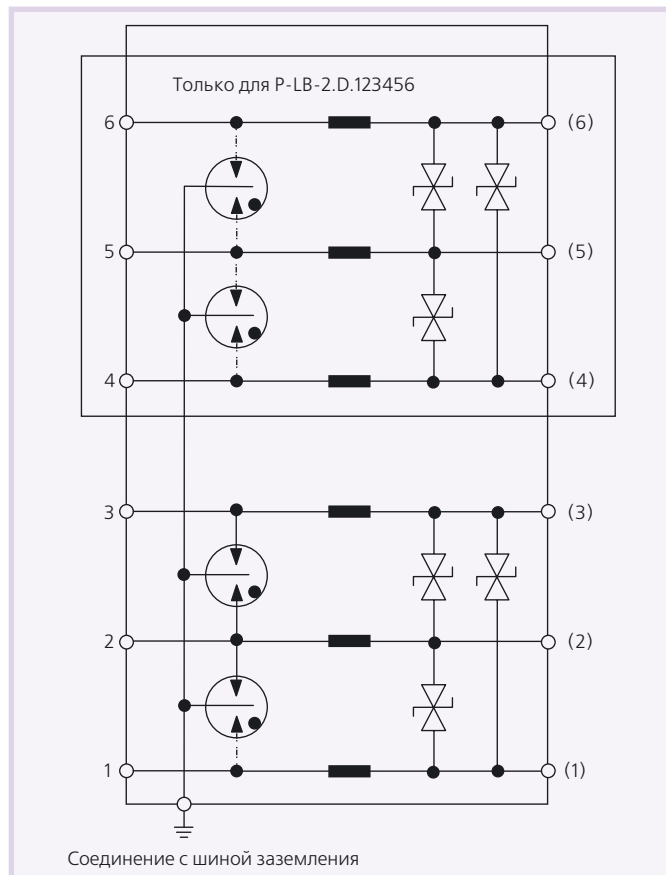
Технические характеристики и особенности модулей серии P-LB:

- импульсный ток, пропускаемый устройством при срабатывании, составляет 10 кА (8/20 мкс) в соответствии с ССИТТ и IEC 60060-1 (защитное устройство Category C);
- устанавливаются непосредственно на модуле;
- соединительный зажим для проводов с площадью поперечного сечения до 2,5 мм<sup>2</sup>;
- сертифицированы для применения в искробезопасных цепях, изоляция между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования не менее 500 В;
- являются самовосстанавливающимися и не требуют технического обслуживания;
- быстро и просто устанавливаются.

Электрические параметры модулей серии P-LB представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Электрические параметры модулей ограничения напряжения серии P-LB-\*. \***

Рабочее напряжение	≤ 30 В
Рабочий ток	≤ 250 мА
Ток утечки	≤ 5 мкА
Допустимое напряжение	≤ 45 В
Напряжение пробоя изоляции	500 В



**Рис. 10. Электрическая схема устройства ограничения напряжения P-LB-2.D.123456**

Применение данных модулей обеспечивает следующие преимущества:

- экономия монтажного пространства (рис. 11);
- сокращение общей длины электропроводки;

- сокращение числа кабельных каналов;
- снижение риска ошибочного соединения элементов системы;
- безопасное и надёжное соединение модулей;
- простота использования.

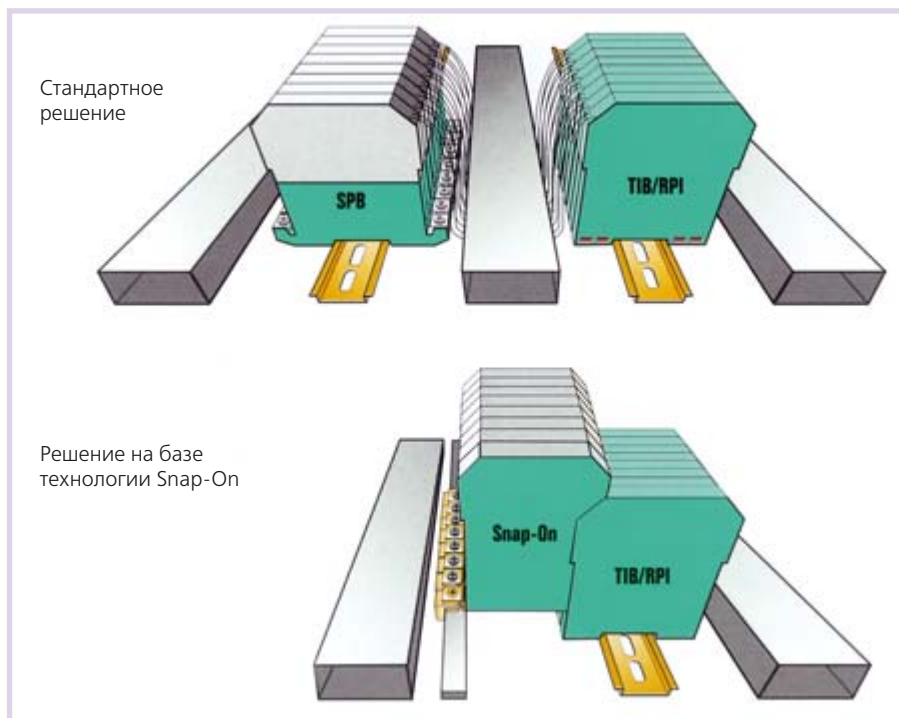


Рис. 11. Решения на базе технологии Snap-On требуют меньше монтажного пространства

Таблица 5. Модули ограничителей напряжения серии P-LB для применений с ТИВ-модулями К-системы

Кодировка модуля ТИВ фирмы Pepperl+Fuchs	Функции модуля с гальванической изоляцией	Модель модуля ограничителя напряжения
KF**-*S*R-Ex1, KFD2-CR-/ST-*1(3)-Ex1	Дискретный вход, двухпроводной токовый вход	P-LB-1.A
KF**-*SRU-/DWB-/DU-/UFT-/PWC-(Ex)	Универсальные формователи сигнала	
KF**-*S*2-/*STC4-Ex2	Дискретный вход/двухпроводной токовый вход	P-LB-2.A
KFD2-SD-/SL(2)-/SCD-Ex1	Дискретный выход/ретранслятор (промежуточный усилитель)	P-LB-1.B
KFD2-SL(2)-Ex2	Дискретный выход	P-LB-2.B
KFD0-CS-(Ex)2	Промежуточный усилитель	
K**-*FSU-/IT-/DW-Ex1	Универсальный формователь сигналов	P-LB-1.C
KFD2-CR-/STC4-Ex1	Трёхпроводной токовый вход	P-LB-1.D
KFD2-UT-/TR-Ex1	Температурный преобразователь	

Таблица 6. Модули ограничителей напряжения серии P-LB для выносных средств сопряжения (RPI)

Кодировка модуля RPI фирмы Pepperl+Fuchs	Функции выносного средства сопряжения	Модель модуля ограничителя напряжения
KSD2-CI-(S)-(Ex)	Токовый вход	P-LB-1.C
KSD2-BI-Ex2	Дискретный вход	P-LB-2.C
KSD2-BO-Ex2	Дискретный выход	
KSD2-BI-(Ex)4,	Дискретный вход	P-LB-4.A
KSD2-FI-Ex2	Частотный преобразователь	P-LB-1.E
KSD2-BO-(Ex)	Дискретный выход	
KSD2-CO-(S)-(Ex)	Токовый выход	P-LB-2.D
KSD2-RO-(Ex)2	Релейный выход	
KSD2-CI-(Ex)	Токовый вход	P-LB-2.E
KSD2-TI-(Ex)	Температурный вход	P-LB-1.F
KSD2-CO-(S)-Ex2	Токовый выход	P-LB-2.F
KSD2-FI-(Ex)	Частотный преобразователь	

Выбор модулей серии P-LB для конкретных применений с модулями трансформаторной гальванической изоляции (ТИВ) или выносными средствами сопряжения с устройствами нижнего уровня систем автоматизации можно сделать с помощью данных, приведённых в табл. 5 и 6.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы использования ограничителей перенапряжения для защиты оборудования систем автоматизации являются весьма актуальными, так как воздействие кратковременных перенапряжений, возникающих в электрических цепях от грозовых разрядов и коммутационных помех, приводит к повреждению оборудования и значительным материальным потерям из-за его простоя.

Применение комплекса защитных мер от грозовых перенапряжений, включающих заземление, установку системы выравнивания потенциалов и ограничителей перенапряжения, позволяет зачастую сэкономить значительные средства. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. — СПб.: ДЕАМ, 2001.
2. Колосов В.А. Надёжность электронной аппаратуры и параметры качества электрической энергии. Устройства и системы энергетической электроники//УСЭЭ-2000: Тезисы докладов научно-технической конференции. — М.: НТФ ЭНЭЛ, 2000.
3. Überspannungs-Schutzbarrieren-Pepperl+Fuchs Prozess Automation (Part. No. 117896 11/01 00). — Mannheim: Pepperl+Fuchs PA, 2000.
4. ГОСТ Р 51330.10—99. Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь i. — Введ. 01.01.2001.
5. Feldgeräte für die Prozessautomation, Ausgabe 2002 (Part. No. 37 867 02/02 06). — Mannheim: Pepperl+Fuchs PA, 2002.
6. Interface DIN-RAIL Housing, Edition 2001 (Part. No. 27445 02/01), Pepperl+Fuchs Process Automation. — Mannheim: Pepperl+Fuchs PA, 2001.

**В.К. Жданкин — сотрудник фирмы ПРОСОФТ**  
**119313 Москва, а/я 81**  
**Телефон: (095) 234-0636**  
**Факс: (095) 234-0640**  
**E-mail: victor@prosoft.ru**