

# НОВЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

**А.Балевски** alexandar.balevsky@gmail.com  
**К.Утюшев** led@konkurel.ru  
**М.Коротков** korotkov@konkurel.ru

Стандартные устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) недостаточно эффективны для противодействия высоким и/или длительным перенапряжениям в сети электропитания из-за параллельного способа подключения этих устройств. Трехполюсное подключение устройств защиты к оборудованию позволяет устранить этот недостаток, а также обеспечивает защиту от токов молнии и превышения температуры. Этот способ реализован в серии модулей защиты оборудования мощностью от 40 до 1000 Вт, разработанных и производимых компанией LumyComp Design на основе комбинированных элементов защиты 2Pro AC компании TE Connectivity (до весны 2011 года – Tyco Electronics).

**У**ниверсальные модули компании LumyComp Design предназначены для защиты электрического и электронного оборудования от всех видов импульсных перенапряжений. Модули выпускаются в трех форм-факторах: 1) открытое исполнение (для монтажа внутри герметичного устройства), 2) в герметичном пластиковом корпусе IP66 (для наружного монтажа), а также в виде 3) кабеля-удлинителя (для оперативной защиты оборудования без проведения монтажных работ по установке модуля защиты). В статье описаны принципы работы и конструкция этих модулей, а также приведены рекомендации по их применению. Но предварительно следует рассмотреть причины возникновения и виды различных помех, всплесков и перенапряжений, а также воздействия, которые они оказывают на оборудование, и способы защиты от них на примере комплексной защиты светодиодных светильников.

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОПАСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

К основным видам импульсных помех, которые оказывают негативное воздействие на световое оборудование, относят скачки напряжения от разрядов молнии, индуцированные перенапряжения,

перекос фаз вследствие потери нейтрали, индустриальные помехи, статическое электричество. Как известно, ток в разряде молнии достигает 10-100 000 А, а напряжение составляет от десятков миллионов до миллиардов вольт. Поэтому разряды молнии вызывают скачки напряжения в электросети. Согласно ГОСТ Р МЭК 62305-1 – 2010, "Скачки напряжения могут возникать в результате тока молнии и под воздействием индукции в петлях", поэтому различают перенапряжения, вызванные прямыми ударами молнии (попадание молнии в здание или его электросети), – резистивные воздействия, – и непрямыми ударами молнии (наведенные перенапряжения) – индуктивные воздействия.

Для перенапряжений от тока молнии характерны короткие всплески с большой амплитудой (до 10 кВ). Защита от воздействия молнии осуществляется в основном при помощи газовых разрядников. Используются также варисторы, но их недостатком является низкая стабильность параметров. Более современный вариант – использование тиристорных или TVS-диодов (импульсные лавинные стабилитроны). Наиболее надежную защиту от удара молнии дает комбинация разрядника и одного из этих полупроводниковых приборов.

Разрядники, TVS-диоды и тиристоры шунтируют нагрузку при кратковременном повышении напряжения выше нормы. Такая защита возможна только для подавления импульсных помех. При долговременном повышении напряжения выше установленного предела элементы защиты будут перегреваться. Порог срабатывания при защите от удара молнии выбирается на уровне около 400 В постоянного тока.

Индукцированные перенапряжения – самый распространенный и самый опасный вид дистанционного воздействия молнии на электрические цепи. Ток в канале молнии и металлоконструкции пораженного молнией объекта возбуждает переменное магнитное поле, которое наводит ЭДС индукции в любом находящемся поблизости контуре. Так, контур (петля) площадью  $S=1 \text{ м}^2$  на расстоянии  $r_k=1 \text{ м}$  от проводника с током молнии может стать местом возбуждения индуцированного перенапряжения амплитудой до 20 кВ.

Основной показатель – это напряжение 20 кВ, которое индуцируется в петле, сформированной проводом внутри светодиодного светильника (или внутри какого-то другого электронного оборудования) на расстоянии 1 м от протекающего тока молнии с нарастающим фронтом примерно 1 000 000 А за микросекунду.

Таким образом, если площадь петли из проводов внутри светильника или из силовых жил, связывающих светильник с сетью питания, либо из проводников от драйвера к плате светодиодов или внутри самой платы светодиодов составит около 0,1–0,2 м<sup>2</sup> (примерно 30×50 см), то индуцированное напряжение будет пропорциональным площади и равным 2000 В, а в петле 1 м<sup>2</sup> будет наводиться 20 кВ. Внутри платы светодиодов площадь петли из проводов достигает примерно 0,02 м<sup>2</sup>, поэтому индуцируется

напряжение около 400 В с длительностью импульса от 1 до 10 мкс. Индуцированный ток может достигать 5000 А, когда площадь петли из проводов составляет 0,2–0,3 м<sup>2</sup>, или от 50 до 100 А для 20–30 см<sup>2</sup>.

Чтобы уменьшить этот импульс до безопасного значения и устранить на входе драйвера напряжения выше 400 В (которое хороший драйвер может выдержать), необходим защитный элемент, способный пропустить через себя (шунтировать) ток 5000 А и при этом устранить на непродолжительное время (микросекунды) импульс амплитудой выше 400 В. Этими элементами являются TVS-диоды, входные варисторы или газоразрядник с номиналом 400 В/5000 А. Для защиты связи между драйвером и платой, где максимальный индуцированный ток может достигать 1000–2000 А при допустимом фронте импульса напряжения 20–30 В/мкс, ставится TVS-диод или стабилитрон с номиналом 20–30 В. Для защиты от перенапряжений внутри самой платы, где площадь внутренних петель соответствует индуцированным токам 50–100 А при максимально допустимом напряжении каждого светодиода 4–5 В, можно применить защитные компоненты PolyZen от TE Connectivity, обычные TVS-диоды поверхностного монтажа или варисторы.

Светильники обычно подключаются между нейтралью (нулевым рабочим проводником) и одним из фазных проводов трехфазной системы. Из-за износа электросетей, а также низкой технологической дисциплины, нередко случаи обрыва или плохого контакта нейтрального провода в трехфазных сетях. В результате возникает явление перекаса фаз, которое способно привести к повышению напряжения на нагрузке вплоть до линейного, т.е. до 380 В. Причем стандарт допускает превышение номинального значения напряжения на 10%, поэтому светильник может оказаться на длительный период

Таблица 1. Параметры защиты по току (выводы 1–2) при 20°C

Наименование	Ток удержания $I_{\text{HOLD}}$ , А	Ток перехода $I_{\text{TRIP}}$ , А	Сопротивление, Ом			Время срабатывания при 1 А, с	
			Мин.	Макс.	$R_{1\text{ макс.}}^*$	Типовое	Макс.
LVM2P-015R10431 LVM2P-015R10431E25	0,15	0,30	6,5	14,0	16,0	0,9	3
PSR-27747	0,35	0,75	1,4	2,2	2,8	0,5	2,0
PSR-28369	0,75	1,50	0,35	0,65	1,0	–	–

\*  $R_{1\text{ макс.}}$  – максимальное сопротивление, измеренное при 20°C через 1 час после срабатывания.

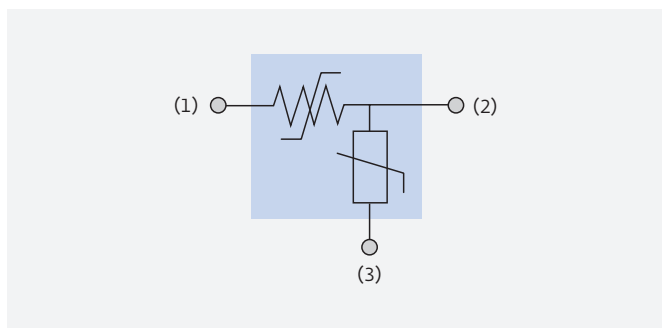


Рис.1. Электрическая схема устройства 2Pro AC

времени под напряжением до 418 В. Следовательно, при оценке возможности использования светодиодного светильника в реальных российских условиях нужно обратить внимание на его устойчивость не только к ударам молнии, но и к повышенному напряжению в диапазоне 242–418 В.

Альтернативные решения от Meanwell и Inventronics не могут в полной мере обеспечить надежную защиту от длительных (от миллисекунд до минут) перенапряжений, так как построены по параллельной схеме. Подобная схема может обеспечить защиту только от очень коротких импульсов длительностью от 20 до 300 мкс, в то время как более длительные пульсации одинаково опасны как для защищаемого оборудования, так и для защитных систем (верхний порог напряжения у них не более 305–320 В). В случае появления высоковольтных импульсов или перепадов напряжения выше 305–320 В (например, 380–400 В переменного тока или 550–600 В постоянного тока) продолжительностью более миллисекунд (секунды или минуты) на входе цепи питания, все предлагаемые на рынке модули защиты из пассивных компонентов не смогут защитить подключенную электронику и разрушатся сами.

Разумеется, существуют технические решения на полупроводниковых компонентах, но они значительно дороже и критичны к перенапряжениям.

Таблица 2. Параметры защиты по напряжению (выводы 2–3)

Наименование	Напряжение варистора при 1 мА, В постоянного тока	Сопротивление постоянному току при 100 В, МОм	Максимальное напряжение удержания при 25 А, В	Номинальная мощность, Вт
LVM2P-015R10431 LVM2P-015R10431E25	430±10%	>10	710	0,25
PSR-27747	430±10%	>10	710	0,6
PSR-28369	430±10%	>10	710 (при 50 А)	1,0

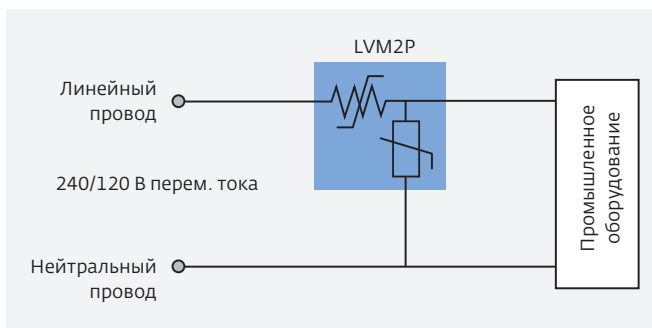
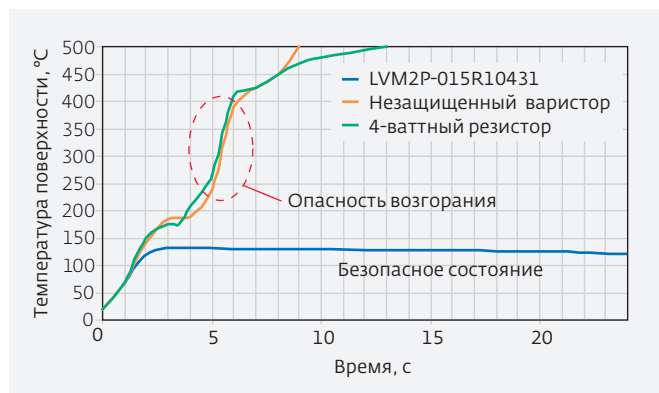


Рис.2. Схема подключения устройства 2Pro AC

Сетевые фильтры и стабилизаторы напряжения на мощных полупроводниковых устройствах декларируют комплексную защиту по току и напряжению в сочетании с высокой мощностью защищаемого оборудования и быстротой срабатывания при попадании на вход напряжения выше 250 В. Проблемы наступают при превышении этого значения – когда появляется импульс напряжения 350–400 В переменного тока минутной длительности либо напряжение 1000–2000 В в течение миллисекунд, что вызывает в полупроводниковых элементах схемы защиты импульсы тока большой амплитуды (до сотен ампер) с недопустимой крутизной фронта ( $di/dt$ ).

Если ток, протекающий через тиристор в прямом направлении (в открытом состоянии), будет возрастать со скоростью более некоторой критической величины  $di/dt > di_{крит.}/dt$ , произойдет разрушение структуры и выход тиристора из строя из-за ограниченной габаритными размерами площади протекания тока, что ведет к увеличению плотности тока и локальному тепловому пробую. Параметр  $di_{крит.}/dt$  является справочным, он указан в каталогах для каждой модели тиристора.

Комбинированные элементы защиты 2Pro AC от TE Connectivity выполнены полностью пассивными, способными благодаря физическим свойствам полимерного предохранителя и металлооксидного варистора без ущерба выдерживать тысячи



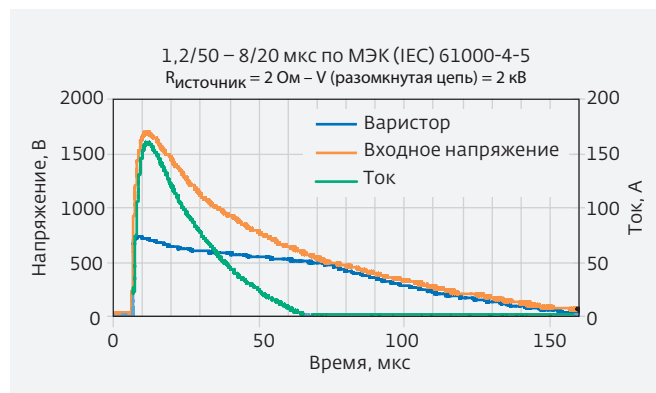
**Рис.3.** Сравнение схем защиты (действующее значение 400 В, 4 А)

вольт и сотни ампер в течение нескольких миллисекунд за счет перехода в состояние нагрева.

### ПРИНЦИП ТРЕХПОЛЮСНОЙ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ОПАСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТИ 220 В

Элементы 2Pro AC представляют собой комбинированное средство защиты по току/напряжению/температуре для широкого спектра электрических и электронных приборов. Их использование помогает предотвратить ущерб, вызванный скачками напряжения вследствие попадания молнии, электростатических разрядов, потери нейтрали, повышенных входных напряжений, наведенных токов и напряжений.

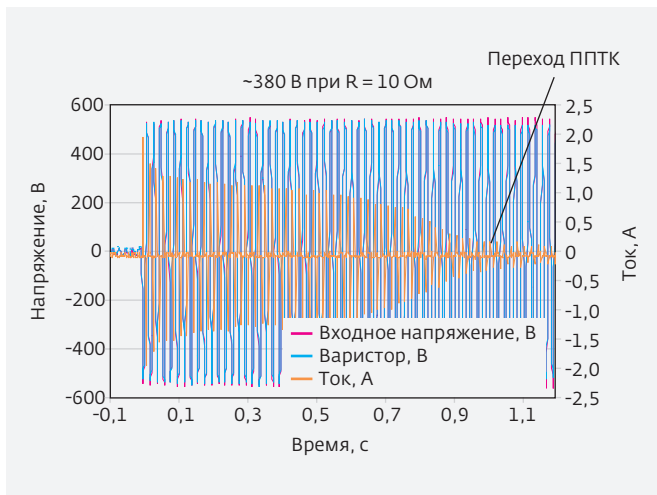
На данный момент в серию 2Pro AC входят три элемента с различными номиналами по току (150, 350 и 750 мА) для применения в блоках питания



**Рис.4.** Устойчивость к скачкам напряжения

различной мощности. Комбинированное устройство защиты является трехполюсным элементом, содержащим PolySwitch (полимерный элемент защиты по току с положительным температурным коэффициентом, ППТК) и металлооксидный варистор (МОВ).

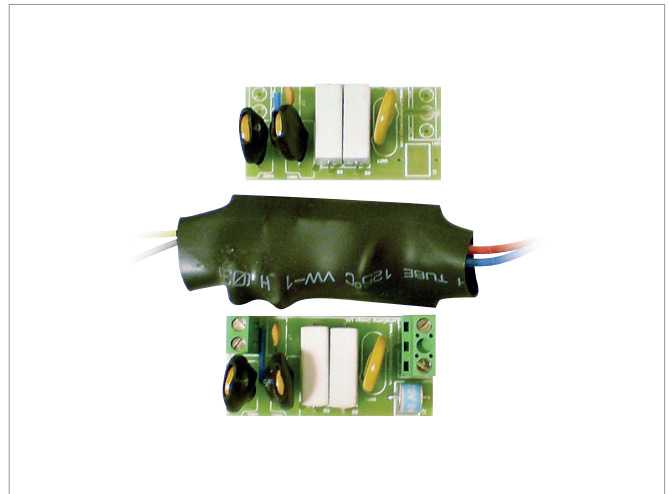
Устройства защиты PolySwitch изготовлены из композитного полукристаллического полимера с добавлением проводящих частиц. При комнатной температуре проводящие частицы формируют в полимере мелкокристаллическую структуру с низким сопротивлением, однако выше температуры переключения (из-за высокого тока или увеличения внешней температуры) полимер плавится и переходит в аморфное состояние. Расстояние между проводящими частицами увеличивается, что ведет к нелинейному росту сопротивления (см. <http://www.konkurel.ru/faq.php>).



**Рис.5.** Реакция на потерю нейтрали

Такое сочетание позволяет получить самовосстанавливающуюся защиту (реагирующую на перегревы) с ограничением нежелательных токов и фиксацией допустимого напряжения. Комплексное техническое решение в рамках одного устройства позволяет производителям обеспечить требования безопасности, снизить количество используемых элементов и повысить надежность выпускаемого оборудования. Электрические характеристики перечислены в табл.1 и 2.

Принцип работы комбинированного устройства защиты 2Pro AC основан на особенностях каждого из двух составных элементов. При нормальных рабочих условиях сетевое напряжение переменного тока, приложенное к металлооксидному варистору, не превышает значения максимально допустимого напряжения продолжительной работы. Однако иногда возникают нежелательные импульсы напряжения выше этого значения. За счет последовательного подключения ППТК и параллельного подключения металлооксидного варистора комбинированное устройство 2Pro AC помогает достичь улучшенной защиты по напряжению и от перегрева там, где один варистор оказался бы уязвимым в условиях продолжительного перенапряжения, превышающего допустимые нормы варистора. Во время прохождения сильного импульса ППТК-элемент устройства 2Pro AC нагревается и переходит в высокоомное состояние, чтобы предотвратить разрушение варистора. Устройство 2Pro AC выпускается в плоском корпусе с тремя радиальными выводами (радиально-выводная конструкция). Электрическая схема устройства показана на рис.1, а схема подключения – на рис.2.



**Рис.6.** LCPT40, бескорпусное исполнение (IP65/IP67 с термоусадочной трубкой) – 50 Вт при 25°C, 40 Вт при 65°C

Чтобы надежно защитить оборудование от перенапряжений, необходимо предохранить устройство защиты от перегрева. При защите оборудования в сети ~220 В нередки случаи потери нейтрали. В этом случае к варистору прикладывается напряжение выше допустимого, в наихудшем случае – 400 В переменного тока (вместо номинального ~220 В). При продолжительном токе незащищенный варистор сначала снизит импеданс до нескольких ом, но из-за повышенного тепловыделения, скорее, разрушится сам, чем продолжит защиту оборудования. Если в цепи переменного сетевого напряжения находятся устройства, ограничивающие уровень тока, они также могут перегреваться после выхода из строя варистора. Стандартные незащищенные варисторы обычно рассчитаны на ~275 В. При потере нейтрали они могут перегреваться с губительными последствиями, даже если в цепи используется предохранитель или ограничительный резистор.

ППТК-элемент устройства 2Pro AC помогает предотвратить перегрев варистора, сохраняя поверхностную температуру варистора на уровне ниже 150°C и защищая тем самым устройство при мощных импульсах напряжения от нагрева до температуры возгорания. 2Pro AC помогает производителям обеспечить соответствие продукции требованиям стандартов IEC60950 и IEC60335, а также IEC61000-4-5 в части сохранения работоспособности после "грозовых" тестов. Поскольку в устройстве 2Pro AC элемент ППТК подключен последовательно и с варистором, в цепи не требуется дополнительной защиты по току, что позволяет сократить число используемых компонентов и сэкономить



**Рис.7.** LCPT80-66 (AR) – 80 Вт при 65°C, в корпусе IP66

место на печатной плате. На рис.3 показано воздействие аномальных перенапряжений на три элемента защиты (действующие значения 400 В, 4 А): комбинированный элемент LVM2P-015R10431 (ППТК и варистор), одиночный варистор (10 мм, 275 В), комбинация варистора и 4-ваттного силового резистора (10 Ом). На рис.4 показан результат испытания элемента защиты 2Pro AC LVM2P-015R10431 по стандарту IEC61000-4-5 (устойчивость к скачкам напряжения). Реакция этого элемента защиты на потерю нейтрали представлена на рис.5.

### МОДУЛИ КОМПАНИИ LumyComp Design НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ TE Connectivity

После знакомства с устройствами защиты TE Connectivity можно обсудить конструкцию и принцип работы продукции LumyComp Design. Первая ступень для напряжений от 1000 В и выше построена по схеме "варистор + газоразрядник". Эта ступень обеспечивает защиту от коротких микросекундных замыканий (8/20 мкс, т.е. два импульса длительностью 8 и 20 мкс) с током до 5000 А и от напряжения в несколько киловольт (успешно испытано до 7 кВ), что полностью соответствует классу 2 стандарта EN61643-11: 2002 + A11: 2007. Вторая ступень основана на элементе защиты от TE Connectivity серии 2Pro AC и защищает от короткого перенапряжения до 1000 В, до 380–418 В трехфазного напряжения или от длительных перенапряжений до 600 В.

Для улучшения работы комбинированных элементов защиты серии 2Pro AC модули LumyComp Design используют дополнительные компоненты, а также специальную конструкцию



**Рис.8.** LCPT160-66 (AR) – 160 Вт при 25°C, в корпусе IP66

с нетиповой разводкой печатной платы. В результате диапазон защиты от скачков напряжения и тока длительностью 20–50 мкс вырос с 2000 до 10 000 В и с 1000 до 5000 А.

Использование варисторов, газоразрядников, дополнительной индуктивности и резистора уменьшают первый импульс помехи длительностью 8 мкс, поступающий на элементы схемы. Еще одно улучшение связано со специально разработанной схемой параллельного подключения нескольких элементов комбинированной защиты серии 2Pro AC. Обычное параллельное подключение элементов вызовет срабатывание одного из них в режиме предохранителя и переход в защитный режим с высоким сопротивлением, хотя остальные элементы остаются в режиме низкого сопротивления. Используя этот метод, модули защиты LumyComp могут обеспечить гораздо большую номинальную мощность (увеличение от 200 до 1000%) и защитить нагрузку с мощностью от 300 Вт от перенапряжений до 1000 Вт (при 65°C), в то время как отдельный элемент серии 2Pro AC – PSR-28369 (750 мА при 25°C) – может защитить нагрузку с мощностью только от 80 до 100 Вт.

### МОДУЛИ ЗАЩИТЫ СЕРИИ LCPTXX

Модули защиты этой серии выпускаются для защиты оборудования с номинальной мощностью 80, 160, 300 и в перспективе – 500 и 1000 Вт. Они предназначены для защиты всех типов электронных и электрических устройств, подверженных влиянию различных помех, импульсов и сверхнапряжений. Обеспечена полная защита от любых импульсных наводок и разрядов молний по второму классу стандарта EN61643-11: 2002 + A11: 2007,



**Рис.9.** LCPT200-OL, кабельное исполнение, 200 Вт, вилка/розетка



**Рис.10.** LCPT350-OL, кабельное исполнение, 350 Вт, вилка/розетка

т.е. до 5000 А и ~10 кВ при длительности 20 мкс (8/20 мкс). Модули поддерживают защиту от любого импульса перенапряжения ~1000 В миллисекундной продолжительностью в сети ~220 В.

Модули обеспечивают:

- защиту от неограниченного по времени короткого замыкания (вследствие неправильного подключения) в трехфазных системах или от любого перенапряжения до ~415 В (около ~600 В в пиковой амплитуде перенапряжения в течение длительного периода);
- защиту любого оборудования, расположенного вблизи от морозильных компрессоров, генераторов или мощных электрических двигателей и/или машин, создающих длительное перенапряжение в сети электропитания из-за индуктивности проводов самой сети;
- защиту от перегрева (тепловую защиту) для продления срока службы и яркости светодиодных светильников;
- защиту любой электронной аппаратуры, запитанной от железнодорожной вторичной электросети 220 В, от дисбаланса и колебания напряжения в трехфазных несбалансированных линиях электропитания 25 кВ;
- защиту от аварийных разрывов в сетях высокоскоростных поездов в случае рекуперации (возвращения энергии в сеть), сопровождающейся резкими скачками напряжения и сильным перенапряжением.

Внешний вид модулей защиты показан на рис.6-10.

Отметим преимущества модулей защиты LumyCompDesign:

- длительная защита, вплоть до неограниченной по времени;
- высокие технические характеристики – защита от импульсов различной продолжительности с параметрами до 10 кА и 10 кВ;
- комплексная защита нагрузки (по напряжению и току, а также тепловая защита);
- эффективная защита от помех, возникающих в линиях электропитания железнодорожного транспорта;
- герметичное исполнение (класс защиты IP66).

## ЛИТЕРАТУРА

1. TE Connectivity Circuit Protection Products Catalog 2013-2014.
2. **Коротков М.** Комбинированные элементы защиты на сетевое напряжение. – Компоненты и технологии, 2010, №5.
3. **Коротков М.** Продукция Tyco Electronics (Raychem Circuit Protection). Применения в светодиодном освещении. – Полупроводниковая светотехника, 2009, №1.
4. **Курьшев К.** Элементы защиты по току и напряжению Raychem Circuit Protection в телекоммуникационных цепях. Пьеса о защите с оптимистическим финалом. – Компоненты и технологии, 2005, №4.
5. **Курьшев К.** Все, что вы хотели узнать о PolySwitch, но боялись спросить. – Компоненты и технологии, 2006, №3.
6. **Курьшев К., Коротков М.** PolySwitch серии LVR против перегрузок в цепях с напряжением 220 В. – Компоненты и технологии, 2008, №3.
7. [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru).
8. [www.konkurel.ru/faq.php](http://www.konkurel.ru/faq.php).

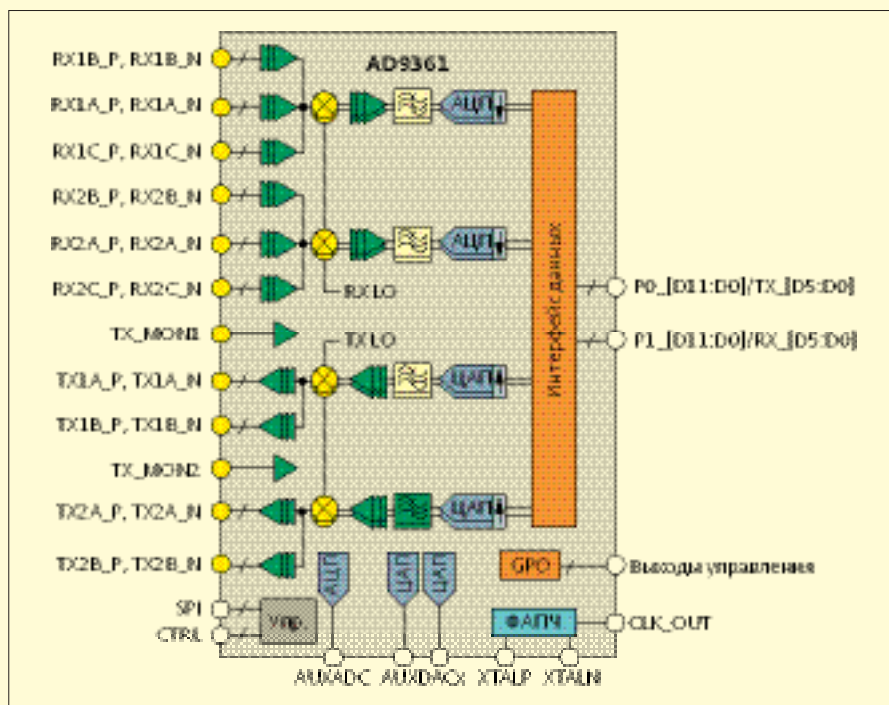


## Интегрированный приемопередающий радиотрансивер AD9361

Интегрированный приемопередающий радиотрансивер AD9361 предназначен для работы на частотах до 6 ГГц с шириной канала до 56 МГц. Микросхема имеет два реализованных на 12-битных высокоскоростных АЦП и ЦАП канала приема и передачи и синтезаторы частоты с ФАПЧ. Возможность программной установки основных характеристик приемопередающих трактов и широкий частотный диапазон делают AD9361 идеальным вариантом для создания радиочастотных устройств различного назначения.

### ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:

- два широкополосных радиочастотных синтезатора частоты с дробным коэффициентом с ФАПЧ (для приемного и передающего внутренних блоков);
- частотный диапазон: от 70 МГц до 6,0 ГГц;
- ширина канала (полоса пропускания): от 200 кГц до 56 МГц;
- коэффициент шума приемника: <math>< 2,5\text{ дБ}</math>;
- величина вектора ошибки TX EVM:  $\leq -40\text{ дБ}</math>;$



Структурная схема AD9361

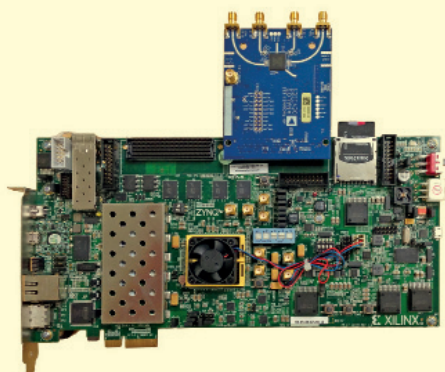
- функции автоматического контроля выходной мощности, квадратурной коррекции, коррекции смещения по постоянному напряжению;
- потребляемая мощность: 730 мВт на канал (при ширине канала 20 МГц);
- корпус: CSPBGA-144 размером 10×10 мм;
- диапазон рабочих температур: от -40 до 125°C.

### ПРИМЕНЕНИЕ:

- контрольно-испытательная и измерительная аппаратура, в том числе высокочастотная;
- портативные и носимые радиостанции;
- радиолокаторы различного назначения;

- телекоммуникационное оборудование и аппаратура телеметрии и телеуправления;
- оборудование для коммуникационных систем – системы связи "точка-точка", "точка – много точек";
- программно-определяемые радиосистемы;
- аппаратура базовых станций сотовой связи 3G, 4G, LTE.

Для разработки и оценки возможностей AD9361 доступны платы AD-FMCOMMS2-EBZ и AD-FMCOMMS3-EBZ, работающие совместно с оценочными комплектами на основе ПЛИС Xilinx Zynq7000, Kintex-7, Virtex-6, Virtex-7.



Оценочная плата AD-FMCOMMS2-EBZ, установленная на плату Xilinx







