

## Все, что вы хотели узнать о PolySwitch, но боялись спросить

Полимерные устройства токовой защиты PolySwitch (торговая марка фирмы Raychem Circuit Protection, ныне входящей в Tyco Electronics Corporation) вот уже около десяти лет успешно внедряются в разработки отечественных электронщиков. До гениальности простое устройство, полисвитч, тем не менее, не перестает вызывать у инженеров, конструкторов РЭА и просто радиолюбителей множество вопросов. «Можно ли соединять PolySwitch в цепи параллельно?», «Сколько раз может сработать PolySwitch при максимальном для него токе и напряжении?», «Расширяются ли PolySwitch в сработавшем состоянии?» — пытливые умы технарей будоражат не только эти, но и многие другие вопросы. На самые актуальные из них фирма Raychem Circuit Protection дала ответы, а мы постарались их перевести с небольшими дополнениями для российского читателя.

Константин КУРЫШЕВ  
kurishev@konkurel.ru

### Наиболее часто задаваемые вопросы (FAQ) по элементам токовой защиты PolySwitch

#### 1. Где чаще всего используются устройства PolySwitch?

Устройства PolySwitch используются в качестве элементов защиты по току (или от перегрева) в компьютерах и компьютерной периферии, аккумуляторных батареях, телекоммуникационном и сетевом оборудовании, источниках питания, устройствах промышленного контроля, автомобилях, электродви-

гателях и соленоидах, изделиях потребительской электроники, а также имеют множество других применений.

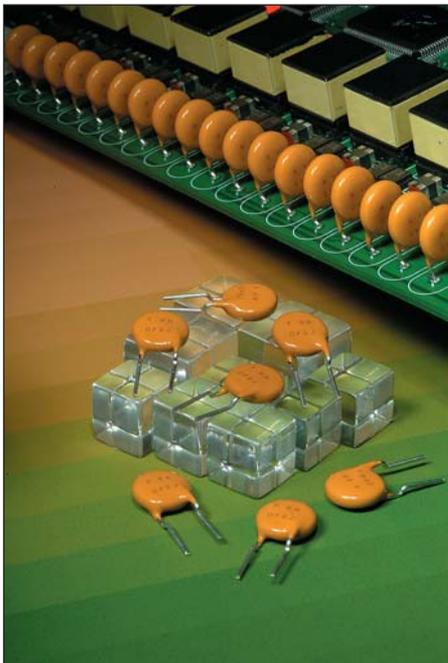
#### 2. В чем разница между устройствами PolySwitch и предохранителями, а также другими устройствами по защите цепей?

Принципиальной разницей между устройствами PolySwitch и предохранителями является способность PolySwitch к многократному использованию. В то время как оба устройства обеспечивают защиту по току, один и тот же PolySwitch может обеспечить подобную защиту множество раз, а после того, как обычный предохранитель однажды сработал, чтобы цепь снова функционировала исправно, он должен быть заменен. Технически PolySwitch — устройство многократного применения, представляющее собой термистор на основе проводящего полимера. Термисторы могут быть как с отрицательным температурным коэффициентом (ОТК), при котором сопротивление устройства падает с ростом температуры, так и с положительным температурным коэффициентом (ПТК), при котором его сопротивление увеличивается с ростом температуры. Устройство PolySwitch — это термистор с положительным температурным коэффициентом. Сравнивая PolySwitch с биметаллическими термопредохранителями, можно заключить, что основным отличием является свойство устройства PolySwitch находиться в высокоомном состоянии, пока не будет устранена неисправность, а не изменять свое сопротивление циклически, как это происходит в биметаллическом предохранителе. Оба устройства можно использовать

многократно, но многие биметаллические термопредохранители возвращаются в исходное состояние даже тогда, когда неисправность все еще присутствует. Это может приводить к большим электромагнитным импульсам при восстановлении и даже к замыканию цепи в неисправном состоянии, что способно повредить оборудование. Устройство PolySwitch останется в состоянии высокого сопротивления до устранения неисправности и обеспечения питания. Отличия PolySwitch от керамических устройств с ПТК (позисторов) изложены в вопросе № 38.

#### 3. Как проявляется эффект положительного температурного коэффициента (ПТК) в полимерах?

Устройство PolySwitch представляет собой полимерную структуру, которая заполнена черными частицами углерода, чтобы сделать ее проводящей. Следовательно, эта структура пропускает через себя заданный ток. Как только через устройство будет проходить слишком большой ток, оно, по закону Джоуля — Ленца, начнет нагреваться. Так как устройство нагревается, увеличиваются его геометрические размеры. Когда устройство расширяется, частицы углерода оказываются на большем расстоянии друг от друга, таким образом, нарушаются токопроводящие цепочки, и сопротивление устройства будет расти. Это вызовет дальнейшее увеличение размеров и ускорение процесса нагревания, повышая и далее сопротивление. Такого увеличения достаточно, чтобы практически полностью прекратился ток в цепи. Некоторое малое количество тока (ток утечки) все же будет протекать через устройство и окажется достаточным, чтобы поддер-



живать температуру устройства и сохранять высокую величину сопротивления. После устранения неисправности устройство PolySwitch начнет охлаждаться. Когда PolySwitch охлаждается, он возвращается к первоначальным размерам и низкой величине сопротивления, при которых элемент работает на своем номинальном рабочем токе.

#### **4. Как выявить нужный PolySwitch, исходя из образца или описания?**

Большинство устройств PolySwitch помечены символом Raychem Circuit Protection и идентифицирующим кодом или меткой. Стандартное обозначение каждого продукта описано в соответствующем разделе справочника. Однако Raychem также производит достаточно много компонентов на заказ, которые могут быть распознаны только специалистом фирмы-производителя или ее дистрибьютора.

#### **5. Изменяется ли сопротивление PolySwitch в рабочем состоянии?**

Сопротивление устройства PolySwitch может меняться со временем в зависимости от условий окружающей среды. Технические требования к элементам PolySwitch принимают в расчет окружающую среду в условиях возможных их применений.

#### **6. Каков срок хранения устройств PolySwitch?**

Не существует практического ограничения на срок хранения устройств PolySwitch, если они правильно хранятся. Некоторые характеристики устройства, такие как паяемость выводов, могут изменяться, если устройство подвергается воздействию повышенной влажности и температуры, но при нормальных условиях хранения электронных компонентов срок хранения неограничен.

#### **7. Когда и насколько быстро восстанавливаются устройства PolySwitch?**

Скорость восстановления зависит от тока, напряжения и температуры. Время, которое требуется для того, чтобы устройство перешло в состояние с низким сопротивлением, зависит от множества факторов: типа устройства, сборки, конфигурации, окружающей среды. В целом, большинство устройств восстанавливается за несколько минут, хотя некоторые восстанавливаются за несколько секунд.

#### **8. Является ли устройство PolySwitch самовосстанавливающимся?**

##### **Как и насколько быстро это происходит?**

PolySwitch начинает восстанавливаться, как только устранены неполадки и подано питание. Ток утечки быстро уменьшается, что приводит к охлаждению устройства, соответственно, частицы углерода оказываются расположенными ближе по отношению друг к другу и сопротивление PolySwitch уменьшается. Здесь следует обратить внимание на важное отличие PolySwitch от биметаллических устройств, которые тоже сами восстанавливаются, но делают это даже в том случае, когда неисправность все еще присутствует, тем самым

вызывая заклинивание перехода от защищенного состояния к самовосстановлению, что может повредить оборудование. PolySwitch останется в защищенном состоянии до тех пор, пока не удалена неисправность. Путем параллельного подключения к PolySwitch другого устройства с ПТК (такого, как электролампа, например) можно создать цепь, в которой элементы защиты смогут восстанавливаться без отключения питания от устройства (варианты подобного использования имеются в «Справочнике по защите электронных цепей» [1] — в громкоговорителях, например). Существуют также состояния, в которых PolySwitch сам восстанавливается, когда неисправность удалена, а питание все еще подается. Для более подробной информации см. главу «Справочника» Raychem Circuit Protection «Automatic Reset Conditions».

#### **9. Можно ли чистить устройства PolySwitch?**

Большинство типичных чистящих жидкостей для электронных компонентов подходят для очистки PolySwitch, однако некоторые растворители могут оказывать нежелательный эффект на работу устройства. Смотрите «Справочник» Raychem Circuit Protection для более подробной информации по конкретным PolySwitch.

#### **10. Можно ли соединять PolySwitch в цепи параллельно?**

Да, главное преимущество здесь — высокие значения пропускаемого тока и низкое сопротивление. См. технические описания полимерных элементов с ПТК в справочнике или на сайте [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru) [2].

#### **11. Могут ли устройства PolySwitch использоваться в последовательных соединениях?**

Это не практично и не дает преимуществ в большинстве применений. Включение двух PolySwitch в цепь последовательно не удвоит допустимые значения напряжения. Первый PolySwitch в таком случае всегда будет переходить в защищающее состояние первым, поэтому второе аналогичное устройство не обеспечит никакой дополнительной защиты.

#### **12. Какими могут быть последствия давления на PolySwitch?**

Внешнее давление на PolySwitch повлияет на электрические характеристики устройства. Если давление достаточно, чтобы ограничить расширение PolySwitch во время срабатывания, то устройство не будет функционировать нормально и это приведет к невыполнению элементом защиты своей задачи. Следует избегать установки устройства в конфигурации, которая ограничивает расширение PolySwitch.

#### **13. Можно ли сгибать выводы PolySwitch?**

Придавать какую-либо форму выводам всегда следует с осторожностью. У элементов с радиальными выводами формовка «ножек» может быть проведена без какого-либо влияния на работу устройства. В остальных же случаях такая практика не рекомендуется, если только

выводы не сгибаются на расстоянии, достаточном для того, чтобы не повредить устройство.

#### **14. Каковы последствия заливания PolySwitch компаундом?**

Делать это не рекомендуется, хотя некоторые потребители полисвитчей успешно выполняли подобную операцию. Нужно соблюдать осторожность в выборе материалов для заливки и в степени отвердевания компаунда. Если компаунд окажется слишком жестким, это не позволит PolySwitch расширяться нужным образом, что приведет к неправильной работе устройства. Если же материал компаунда слишком мягок, может пострадать способность элемента к теплопередаче и устройство не станет работать как положено.

#### **15. Какие неисправности может иметь сам PolySwitch?**

Типичная неисправность для PolySwitch — выход из строя в состоянии высокого сопротивления. Это означает, что PolySwitch не возвращается к первоначальной низкой величине сопротивления, при которой рабочий ток не изменяется. Для того чтобы получить сертификат UL, устройство должно удовлетворять двум критериям: во-первых, технически иметь возможность сработать по крайней мере 6000 раз и каждый раз показывать исходные параметры ПТК; во-вторых, оставаться в сработавшем состоянии более 1000 часов, также не изменяя своих характеристик. Если устройство подвергается перегрузке, в условиях которой превышаются заданные максимальные для этих устройств напряжение и ток или PolySwitch испытывает многократные срабатывания с параметрами, превышающими требования UL, то вероятен пробой и искрение элемента.

#### **16. Сколько раз может работать PolySwitch при максимальном для него токе и напряжении?**

Каждый PolySwitch рассчитан на заданное рабочее напряжение. Любой PolySwitch может выдерживать определенный максимальный для него ток в случае неисправности. Чтобы соответствовать требованиям UL, устройство должно сработать по крайней мере 6000 раз и показать первоначальные ПТК-характеристики. Устройства PolySwitch для телекоммуникаций обычно имеют самые большие величины максимального тока и напряжения из-за специфики неисправностей, которые могут произойти в телекоммуникационном оборудовании. В таких условиях PolySwitch должен срабатывать от нескольких десятков до нескольких сотен раз, сохраняя заданные в спецификации параметры. Следует иметь в виду, что PolySwitch предназначен для защиты цепи от аварийных перегрузок по току (температуре) и не рассчитан для использования в условиях, когда перегрузка и, как следствие, высокоомное состояние превращаются в постоянный режим функционирования. Как указано в «Справочнике», если оставить PolySwitch в сработавшем состоянии на очень длительное время, это может привести к его повреждению, а также пробоям и искрению.

### 17. Как ведут себя PolySwitch в космосе?

PolySwitch не были квалифицированы и, следовательно, не рекомендуются для работы в космосе. Если устройство используется в условиях вакуума, это окажет влияние на электрические и термические характеристики PolySwitch.

### 18. Какой состав имеет покрытие PolySwitch?

Для радиально-выводных элементов PolySwitch (серии TR, TRF, вся линия R — RXEF, RUEF и т. д.) — это негорючая эпоксидная смола. Для батарейных полосковых PolySwitch — это покрытие из полиэстера. Данные материалы удовлетворяют требованиям UL94V-0 или IEC695-2-2.

### 19. Какие сертификаты UL-, CSA- и TüV имеют устройства PolySwitch?

Номера соответствующих сертификатов на каждую из серий элементов см. в «Справочнике по защите электрических цепей» Raychem Circuit Protection.

### 20. Что означает «-1» в окончании кода изделия PolySwitch?

«-1» означает устройство с радиальными выводами длиной 1 дюйм (2,54 см). Смотрите чертежи интересующих устройств в разделе «Технические описания PolySwitch» на сайте [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru).

### 21. Что означает «-2» в окончании кода изделия PolySwitch?

«-2» означает, что данные устройства поставляются в бобилах на специальной упаковочной ленте. При этом характеристики элементов «на ленте» ничем не отличаются от характеристик таких же элементов, поставляемых в другой упаковке.

### 22. Какова максимальная температура окружающей среды, при которой могут быть использованы устройства PolySwitch?

Это напрямую зависит от серии компонентов. Для рабочего состояния большинства продуктов Raychem Circuit Protection верхняя граница температуры доходит до 85 °С. Для некоторых видов выпускаемой продукции (например, Chip, AHR, RHE, отдельные элементы TD), температура может достигать 125 °С; а для других серий элементов (VTP) может составлять не более 70 °С. В выключенном состоянии некоторые из производимых устройств для поверхностного монтажа (SMD, miniSMD, TS) на короткий период могут выдержать температуру пайки волной. Использование этих устройств при температурах, превышающих указанные, приведет к нежелательным срабатываниям PolySwitch и, возможно, повреждениям.

### 23. Что происходит, когда ток в цепи превышает рабочий (IH), но не достигает тока срабатывания (IT)?

Рабочий ток — это наибольший установившийся ток, который, при определенных условиях окружающей среды может протекать

через PolySwitch без перехода элемента в высокоомное состояние. Ток срабатывания — это наименьший установившийся ток через PolySwitch, который вызовет его переход при определенных условиях окружающей среды.

Устройство может вести себя по-разному в зависимости от многих факторов: времени нарастания тока; периода времени, на протяжении которого PolySwitch подвергается воздействию тока; температуры окружающей среды. Устройство может остаться в состоянии низкого сопротивления, быстро перейти в высокоомное состояние или перейти в высокоомное состояние спустя долгое время. Разница в величинах тока срабатывания и рабочего тока представляет собой зону, в которой работа устройства в плане перехода из высокоомного состояния в низкоомное и наоборот не может быть предсказана с уверенностью.

В зависимости от первоначального сопротивления устройства, условий окружающей среды и метода пайки элемента, устройство может либо остаться в состоянии с низким сопротивлением и пропускать этот ток либо переключиться в высокоомное состояние, если ток достаточно высок.

### 24. Каково соотношение между рабочим током IH и током срабатывания IT?

#### Чем обусловлена разница?

Для большинства изделий это соотношение — 2:1. Для некоторых из них оно может варьироваться от 1.7:1 до 3:1. Данное соотношение обусловлено производственными различиями в сопротивлении, а также изменением сопротивления после срабатывания PolySwitch. Все это делает соотношение 2:1 наиболее практичной величиной для большинства полисвитчей Raychem.

### 25. Можно ли использовать PolySwitch для контроля перегрева?

Хотя первоначальная задача PolySwitch — это защита цепи по току, многие такие устройства успешно используются и для того, чтобы предотвратить перегрев. Хорошим примером являются компоненты серии VTP, которые благодаря своей низкой температуре срабатывания позволяют избежать использования каких-либо термических устройств для защиты аккумуляторных батарей.

### 26. В чем разница между $R_{min}$ , $R_{max}$ и $R_{I_{max}}$ ?

Мы говорим о сопротивлении PolySwitch при заданных условиях (например, при 20 °С) до подключения PolySwitch в цепь. Устройства каждого конкретного типа имеют определенный диапазон сопротивлений; для этого часто приводятся значения минимального ( $R_{min}$ ) и/или максимального ( $R_{max}$ ) сопротивления.  $R_{I_{max}}$  — это максимальное сопротивление PolySwitch при комнатной температуре через 1 час после срабатывания или после монтажа (установки) компонента.

### 27. Каким будет сопротивление PolySwitch после того, как он сработал и восстановился в течение 1 часа?

Оно будет меньшим, чем сопротивление  $R_{I_{max}}$  для данного конкретного устройства.

### 28. Какова величина сопротивления PolySwitch в сработавшем состоянии?

Сопротивление PolySwitch в сработавшем состоянии зависит от следующих факторов: типа используемого устройства, приложенного к нему напряжения (U) и мощности, рассеиваемой на устройстве (Pd). Величина этого сопротивления может быть вычислена по формуле:  $R_t = U^2/P_d$ .

### 29. Каков состав припоя, используемого в устройствах?

Для большинства изделий используются припой Sn63 (олово 63%) и Sn60 (олово 60%). Некоторые из производимых компонентов (таких, как RHE) могут содержать высокотемпературный припой. В настоящее время ведется большая работа по применению во многих устройствах бессвинцового припоя, что привело к появлению RoHS-совместимых серий PolySwitch.

### 30. Не попадает ли PolySwitch в состояние «циклического перехода»? Каким образом он остается в сработавшем состоянии?

PolySwitch не заклиниваются между рабочим и сработавшим состояниями, если неисправность все еще присутствует. Когда PolySwitch срабатывает, он переходит из проводящего состояния в режим практического разрыва цепи. В высокоомном состоянии через PolySwitch все же протекает некий малый ток (ток утечки). Этот ток является достаточным, чтобы поддерживать устройство в состоянии высокого сопротивления. В общем случае PolySwitch требует, чтобы питание в цепи было прервано, что позволяет устройству охладиться, прежде чем элемент возвратится в первоначальное проводящее состояние.

### 31. Как долго PolySwitch может оставаться в сработавшем состоянии без повреждений?

Сертифицированные по стандарту UL устройства должны выдерживать 1000-часовое нахождение в высокоимпедансном состоянии без изменений их свойств как элементов с ПТК. Более долгое нахождение в непроводящем состоянии может быть выдержано устройством при такой неисправности, когда значения тока и напряжения не превышают максимальные для устройства. Чем дольше PolySwitch находится в сработавшем состоянии, тем менее вероятно, что он вернется к первоначальной величине сопротивления при восстановлении. Следовательно, такой элемент не будет соответствовать своей спецификации. Степень ухудшения свойств PolySwitch в большой степени зависит от сути неисправности и от свойств самого элемента. Разработчикам следует иметь в виду, что

PolySwitch предназначен для защиты цепи от аварийных перегрузок и не рассчитан для использования в условиях, когда высокоомное состояние становится постоянным режимом функционирования. Как указано в Справочнике, длительное нахождение PolySwitch в непроводящем состоянии может привести к повреждениям устройства, искрению и пробую.

### **32. Расширяются ли PolySwitch в сработавшем состоянии?**

Все PolySwitch расширяются, когда срабатывают, то есть нагреваются. После охлаждения устройство возвращается к первоначальным размерам и форме. Сопротивление PolySwitch может не прийти к начальной величине, но вернется к значению, которое будет соответствовать спецификации.

Следует избегать монтажа устройства в конструктив, ограничивающий его расширение.

### **33. Каково ожидаемое падение напряжения на устройстве?**

Это зависит от типа конкретного устройства. Обычно падение напряжения на устройстве может быть рассчитано, если знать сопротивление и рабочий ток, протекающий через устройство. Для того чтобы определять максимальное падение напряжения, можно взять  $R_{1max}$  как величину сопротивления PolySwitch. Типичное же падение напряжения может быть определено через значение  $R_{max}$  или, если оно не сообщается, используя среднее значение между  $R_{min}$  и  $R_{1max}$ . Падение напряжения считается по следующей формуле:  $V_{drop} = I_{op} \times R_p$ ; где  $I_{op}$  — рабочий ток;  $R_p$  — сопротивление PolySwitch.

### **34. Можно ли использовать PolySwitch в условиях сетевого напряжения (220–240 В)?**

Для применения в условиях сетевого напряжения теперь существует серия устройств PolySwitch LVR. В настоящее время в серии LVR выпускаются полисвитчи с но-

минальным током от 50 до 550 мА, в перспективе ожидается появление элементов line voltage на 1 и 2 А. Подробную информацию смотрите в разделе LVR на сайте [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru).

### **35. Могут ли PolySwitch быть отсортированы по сопротивлению?**

Некоторые из элементов Raychem поставляются отсортированными по сопротивлению. Эта возможность в первую очередь нацелена на элементы, которые были разработаны специально для использования в телекоммуникациях, где важно соблюдать баланс сопротивлений в двух «плечах» абонентской линии. Это, например, серии TR, TRF и TS. Как правило, в пределах одной упаковки разброс сопротивлений не превышает заданный, например, +0,5 Ом.

### **36. Есть ли у Raychem компоненты, которые соответствуют техническим требованиям телекоммуникационной промышленности?**

Устройства серий TR, TRF, TSM и TS предназначены именно для защиты телекоммуникационного оборудования в соответствии с требованиями отраслевых стандартов. Вот только некоторые из этих международных стандартов: UL1950, FCC Part 68, ITU-T K20, K21 и Telcordia 1089.

### **37. Как PolySwitch работает с устройствами, обеспечивающими защиту по напряжению?**

Наиболее часто PolySwitch применяется совместно с устройствами, обеспечивающими защиту по напряжению, в телекоммуникационном оборудовании. Здесь такие устройства, как тиристоры (SiBar), газовые разрядники, варисторы или диоды, обеспечивают защиту от молний и сбоев в системе питания. PolySwitch же обеспечивает защиту всей цепи по току, а также в некоторых случаях защищает сам элемент защиты по напряжению (ЭЗН) [3].

### **38. Чем PolySwitch отличается от керамических элементов с ПТК (позисторов)?**

От керамических устройств с ПТК (позисторов) PolySwitch отличается меньшим начальным сопротивлением, временем реагирования на перегрузку, а также размерами. В сравнении с керамическими элементами с ПТК PolySwitch имеют равномерную температурную зависимость сопротивления (без участков, где позистор ведет себя как элемент с ОТК). Кроме того, сопротивление PolySwitch не снижается после воздействия коротких импульсов высокого напряжения, что присуще керамическим элементам. Наконец, полимерные элементы защиты по току не имеют частотной зависимости импеданса, характерной для керамических позисторов, а потому могут использоваться в высокочастотных трактах передачи данных (xDSL, ISDN). Подробнее вопрос освещен в [2] и [4].

### **39. Как правильно выбрать элемент PolySwitch по заданным параметрам?**

Соответствующие методики описаны в разделах Справочника, посвященных различным сериям PolySwitch. Однако проще воспользоваться разделом Выбор PolySwitch на сайте [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru) (автоматическая система подбора по параметрам).

В статье использованы материалы компании Tyco Electronics Raychem. ■

## **Литература**

1. Tyco Electronics Raychem. Circuit Protection Databook. 2004.
2. [www.circuitprotection.ru](http://www.circuitprotection.ru)
3. 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.
4. Курьшев К. Чем PolySwitch лучше керамического позистора // Компоненты и технологии. 2001. № 6.