

PolySwitch серии LVR

против перегрузок в цепях с напряжением 220 В

Константин КУРЫШЕВ
kurishev@konkurel.ru
Максим КОРОТКОВ
korotkov@konkurel.ru

В статье будут рассмотрены принципы комплексной защиты по току и напряжению электромоторов, трансформаторов и контроллеров в бытовой и промышленной электронике.

Введение

При всей надежности современных электромоторов, используемых в различных сферах — от домашней бытовой техники до профессиональных применений, они подвержены воздействию многих неблагоприятных факторов. Самыми частыми являются механические перегрузки, перегрев, заклинивание, потери нейтрали, «переполосовка», перебои по напряжению. В конечном счете, каждый из этих факторов приводит к возникновению ненормальных токов в обмотке двигателя.

Существует несколько технологий защиты по току, и мы рассмотрим их в сравнении, взяв за основу одну из них — ППТК (Полимерные элементы с Положительным Температурным Коэффициентом), в широких инженерных кругах известную благодаря самовосстанавливающимся предохранителям PolySwitch фирмы Raychem Circuit Protection, ныне входящей в компанию Tyco Electronics.

Серия LVR элементов PolySwitch разработана специально для сетевых напряжений 120 и 240 В переменного тока, предназначена для защиты электромоторов и трансформаторов, а также для обеспечения соответствия требованиям пожарной и электробезопасности. Использование устройств на основе ППТК снижает случаи гарантийного возврата и затраты на замену компонентов в результате повреждения трансформаторов или моторов.

Принцип действия устройств с ППТК

Устройства на ППТК изготавливаются из кристаллического полимера, в который включены проводящие частицы, распределенные в объеме элемента. При нормальных температурах устройства эти частицы создают проводящую сетку благодаря их соприкосновению друг с другом в полимере. Однако если температура повышается до значения, при котором кристаллиты полимера расплавляются и становятся аморфными, происходит пе-

реключение устройства. Увеличение объема во время плавления кристаллических частиц полимера вызывает разрыв проводящих цепочек и, как следствие, резкое нелинейное изменение сопротивления всего устройства.

Необходимо отметить, что повышение температуры может являться как следствием возрастания тока, протекающего по устройству, так и результатом нагрева от окружающей среды. Это означает, что устройство обеспечивает защиту цепи и в случае возрастания тока, и в случае перегрева расположенных рядом компонентов.

Сопротивление обычно повышается на три или более порядка. Это возрастание сопротивления благодаря ограничению тока позволяет защитить компоненты в цепи. Устройство будет оставаться в состоянии высокого сопротивления до тех пор, пока не будет устранена причина сбоя, вызвавшая скачок тока или перегрев. Когда режим работы нормализуется, устройство начнет остывать, что вызовет кристаллизацию материала и восстановление проводящей структуры. Это приведет к переходу в состояние с низким уровнем сопротивления, и нормальный для работы цепи ток без ограничения будет вновь проходить через устройство.

Поскольку устройство с ППТК самостоятельно «восстанавливается» при устранении причин сбоя, оно не требует замены или какого-либо обслуживания после срабатывания.

Сравнение технологий защиты по току

Защита электронных схем от повреждений чрезмерным током или перегревом является главной задачей многих технологий защиты цепей. Ранее эта защита представляла собой, как правило, плавкий предохранитель или пиремычку. Но в современных вариантах использования электрических моторов предпочтительными решениями являются восстанавливаемые устройства на основе ППТК, КПТК (Керамические элементы с Положительным Температурным Коэффициентом) и биметаллические предохранители. Эти устройства не требуют замены после проявления неисправности и позволяют цепи вернуться к нормальным рабочим режимам после снятия напряжения с цепи или устранения условий избыточного тока.

В таблице 1 сопоставляются функциональные особенности работы большинства ис-

Таблица 1. Сопоставление функциональных особенностей работы

Тип устройства	Защита по току и температуре в одном устройстве	Наличие функций восстановления	Способ восстановления в исходное состояние	Пропускание тока в сработавшем состоянии	Циклическая работа	«Защита/восстановление» при срабатывании
Токовый предохранитель	Нет	Нет	Замена	Нет	Нет	Да
Термопредохранитель	Частично ¹	Нет	Замена	Нет	Нет	Да
Биметаллический предохранитель	Да	Да	Самовосстановление ²	Нет	Да	Нет
Автоматический выключатель (тумблер)	Нет	Да	Ручной перезапуск	Нет	Нет	Да
КПТК	Да	Да	Самовосстановление ³	Да	Нет	Да
ППТК	Да	Да	Самовосстановление ³	Да	Нет	Да

Примечания:

- ¹ Термопредохранители не разрабатываются для защиты по току, и обычно требуют больших токов для срабатывания.
- ² Устройство периодически пытается восстановиться до тех пор, пока неисправность или напряжение в цепи не устранены. Либо переключается в состояние с малым сопротивлением при остывании биметаллической пластины.
- ³ Автоматический возврат к состоянию с малым сопротивлением при устранении неисправности и удалении мощности.

пользуемых устройств защиты по току — как однократных, так и многократных.

Сравнение технологии LVR с плавкими предохранителями

Хотя использование одноразовых предохранителей, конечно, является одним из самых легких и дешевых решений для защиты моторов, большинство производителей приборов и устройств считают необходимым доплачивать за восстанавливаемую защиту. В этом случае они обеспечивают сохранность работоспособности мотора даже в случае сверхтока, вызванного коротким замыканием, перегрузками в цепи, заклиниванием мотора или неправильными действиями потребителя.

Tyco Electronics недавно провело сравнительные тесты устройств PolySwitch серии LVR, используемых в качестве основных элементов защиты ряда трансформаторов. Наблюдаемые характеристики устройств PolySwitch были сопоставлены аналогичным измерениям для плавких предохранителей.

Тестирование проводилось с использованием элемента PolySwitch LVR в качестве предохранителя, который был установлен около центра сердечника трансформатора в роли основного элемента защиты первичной цепи. На вход подавалось напряжение ~253 В. Далее было создано короткое замыкание во вторичной цепи. В ходе теста измерялась температура на поверхности первичной и вторичной обмоток, а также температура PolySwitch. Устройство ППТК начало переключаться, когда его поверхностная температура достигла почти 95 °С. Температура первичной катушки в это время уже достигла 95 °С. Как только устройство переключилось и начало ограничивать ток, катушки стали охлаждаться.

В некоторых источниках питания в качестве защиты первичной цепи используются одноразовые термopредохранители. На рис. 1 показан эффект перегрева такого трансформатора. В этом эксперименте короткое замыкание цепи вторичной обмотки вызвало разогрев трансформатора до температуры выше 200 °С. Термopредохранитель номиналом



Рис. 1. Короткое замыкание во вторичной цепи трансформатора ~240 В, использующего плавкий предохранитель в качестве элемента первичной защиты

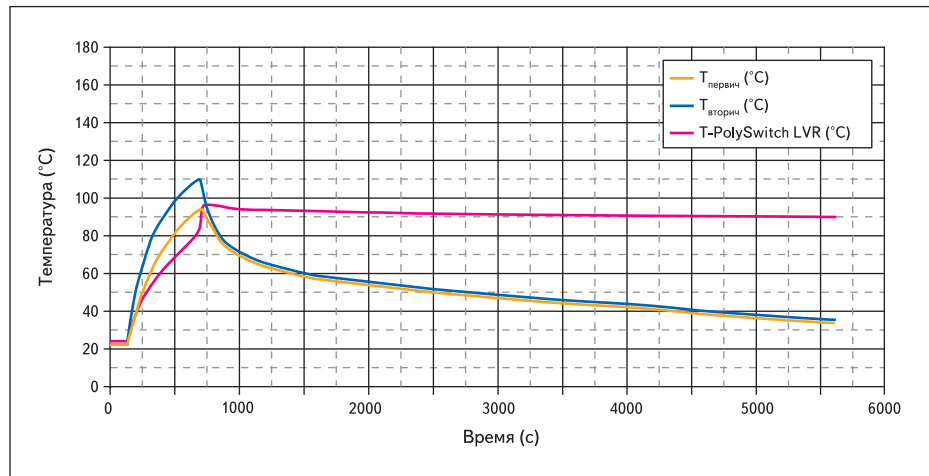


Рис. 2. Короткое замыкание во вторичной цепи трансформатора ~240 В, использующего PolySwitch серии LVR в качестве элемента первичной защиты

Таблица 2. Результаты измерений термopредохранителя и PolySwitch при испытании защиты трансформатора на 120 В

Устройство	Время на переключение	Макс. температура обмотки, °С	Максимальный ток, мА
Термopредохранитель	> 100 мин	147	90
Термopредохранитель	51 мин	157	89
Термopредохранитель	66 мин	147	90
PolySwitch LVR	11 мин	107	87
PolySwitch LVR	13 мин	112	86
PolySwitch LVR	11 мин	103	88

в 115 °С, размещенный вблизи центра сердечника, не открылся, вследствие чего расплавилась изоляция обмотки. Это повлекло за собой выход трансформатора из строя.

На рис. 2 показаны результаты аналогичного теста трансформатора с использованием элемента PolySwitch серии LVR, установленного в качестве элемента первичной защиты.

Результаты измерений, характеризующие поведение элемента PolySwitch и обычного термopредохранителя, которые были получены в ходе испытаний трансформатора на ~120 В при замыкании во вторичной обмотке, приведены в таблице 2.

Эти данные наглядно демонстрируют преимущество элементов PolySwitch:

- более короткое время срабатывания;
- способность ограничивать максимальную температуру обмотки, что помогает защитить как сам трансформатор, так и всю вторичную цепь.

Сравнение технологии LVR с керамическими позисторами

Керамические позисторы или КПТК (Керамические элементы с Положительным Температурным Коэффициентом) способны обеспечивать многократную, самовосстанавливаемую защиту.

Вместе с тем, их использование имеет ряд ограничений ввиду их относительно высокой температуры срабатывания, заметного сопротивления и сравнительно большого размера. Керамические позисторы являют-

ся достаточно хрупкими элементами, что делает их чувствительными к вибрациям, ударам, термическому стрессу (в результате быстрого нагревания или охлаждения, что может происходить во многих областях применения).

Рис. 3 и 4 отображают результаты сравнительных тестов элементов КПТК и ППТК, проведенных Tyco Electronics. PolySwitch фирмы Raychem сравнивались с керамическими позисторами. Они использовались в качестве первичных элементов защиты двух идентичных трансформаторов. Элементы КПТК и ППТК были подобраны для одного и того же номинального рабочего тока. В этом эксперименте аварийная перегрузка создавалась с помощью короткого замыкания во вторичной цепи, при котором измерялись ток, температура обмотки и время срабатывания. Как видно из рис. 3, устройство ППТК реагировало быстрее и при более низкой температуре. Температурные профили, иллюстрирующие разницу поверхностных температур КПТК и ППТК, показаны на рис. 4.

В отличие от устройства КПТК, температура которого на поверхности составляла от 75 до 185 °С, устройство ППТК нагревалось до меньшей поверхностной температуры (примерно 100–120 °С) в сработавшем состоянии.

В ходе тестирования при срабатывании элементов в условиях линейного напряжения 220 В керамический позистор нагрелся до максимальной температуры 184,5 °С, в то время как PolySwitch достиг «потолка» температуры в 118,9 °С.

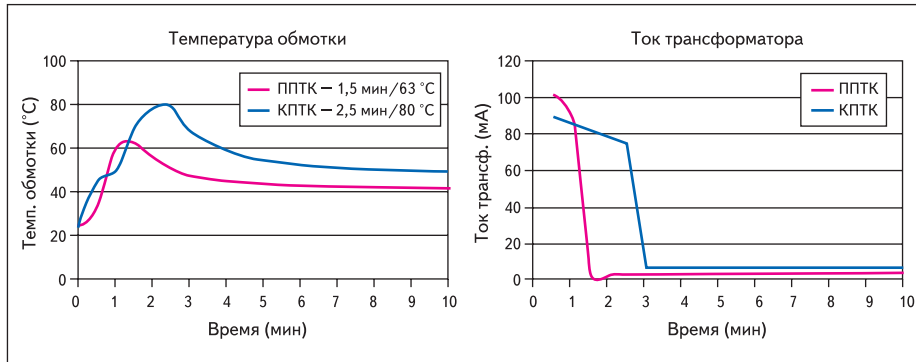


Рис. 3. Сравнение устройств КПТК и ППТК в случае короткого замыкания во вторичной цепи трансформатора ~120 В

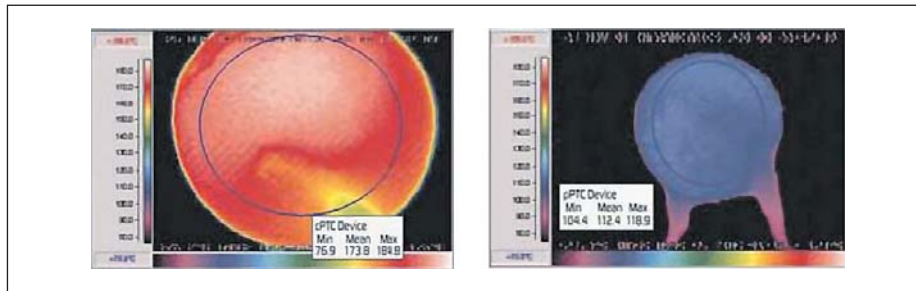


Рис. 4. Сравнение максимальных поверхностных температур устройств КПТК и ППТК в сработавшем состоянии

Следует также отметить, что элементы ППТК имеют меньшее сопротивление, меньшую емкость и, следовательно, меньшую частотную зависимость.

Сравнение технологии LVR с биметаллическими предохранителями

Биметаллические предохранители также являются распространенными элементами многообразной защиты.

Биметаллическая полоска состоит из двух различных, соединенных между собой металлов. Когда превышена температура переключения биметалла, биметаллическая полоска гнется и открывает контакты, разрывая электрическую цепь. При отсутствии протекающего тока устройство охлаждается, и биметаллическая полоска возвращается к сво-

ей нормальной форме, закрывая контакты и вновь замыкая электрическую цепь. Биметаллический предохранитель продолжает циклически размыкаться и замыкаться до тех пор, пока с цепи не снято напряжение, либо причина аварийной перегрузки не устранена. Традиционные биметаллические предохранители, широко применяемые в защите электромоторов, в бытовой и автоэлектронике, не «защелкиваются» и требуют дополнительного действия для выхода из цикла «включение-выключение».

Циклическая природа этого элемента имеет некоторые недостатки. Среди них следует отметить «усталость» материала и тенденции к искрению, свариванию и повреждению контактов. Если элемент полностью замыкается, он может вызвать опасную для электродвигателя и следующей за ним электронной цепи токовую перегрузку. Электромагнитные

помехи, а также посторонние электромагнитные излучения могут сделать биметаллические предохранители несовместимыми со сложными электронными управляющими системами. В ходе проведенных недавно фирмой Tусо Electronics экспериментов были получены сравнительные термические и электрические характеристики популярных биметаллических предохранителей и PolySwitch серии LVR, каждый из которых был установлен в мотор компрессора холодильника.

Защитные элементы были соединены с обмоткой электродвигателя, а ось мотора была заблокирована на период эксперимента. В ходе опыта записывались показания напряжения, тока, температуры обмотки, сердечника, PolySwitch и биметаллического предохранителя.

Результаты двух экспериментов показаны на рис. 5 и 6.

В опыте с использованием биметаллического предохранителя температура обмотки электродвигателя достигла 120 °С через 60 минут. Это значительно больше, чем в тесте с применением элемента ППТК, где температура обмотки электродвигателя поднялась до 44 °С за тот же период времени.

Применения устройств PolySwitch серии LVR фирмы Raychem

Наряду с повышением сложности, интеграции и функциональности электронных схем и снижением размеров печатных плат, защита современных чувствительных электронных устройств от скачков напряжения, коротких замыканий, «переплюсовки» и последствий неправильного использования потребителем является одной из главных задач для производителей и разработчиков.

В прошлом разработчики контроллеров и плат управления обычно не использовали защиту по току первичной или вторичной обмотки, полагаясь на то, что трансформатор погасит достаточное количество тепла, предотвратив возможные последствия ущерба вследствие какого-либо сбоя. Однако возросшее применение чувствительных полупроводниковых устройств в наше

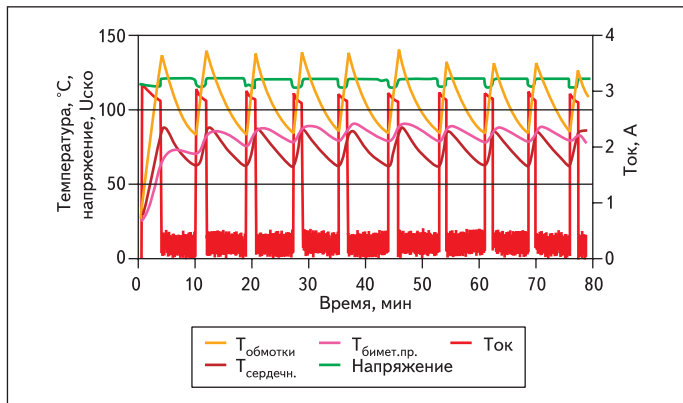


Рис. 5. Результат теста с использованием биметаллического предохранителя

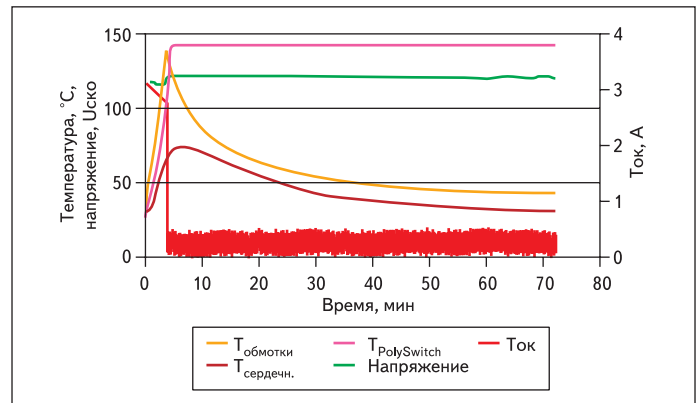


Рис. 6. Результат теста с использованием устройства ППТК

время требует ограничения уровня напряжения.

Большое количество элементов Raychem Circuit Protection может быть использовано в целях обеспечения защиты от перегрева, перегрузок по току и напряжению электрических моторов и вентиляторов, контроллеров, сенсорных панелей, дисплеев и интерфейсных плат, необходимых в самых различных применениях.

Способы защиты моторов прерывного действия

Моторы прерывного действия, например, используемые в блендерах и кухонных комбайнах, проектируются для работы в течение ограниченного времени и, вообще говоря, использование их дольше, чем максимально рассчитанный интервал времени, обычно приводит к заклиниванию, перегреву, и, в конечном счете, полному выходу из строя. Негативные последствия усиливаются, когда подаваемое питание не прерывается выключателем по причине неисправности контактов или неверных действий пользователя.

Для предотвращения перегрева устройства защиты прибора, используемое в нем, должно переключиться быстро, но в то же время ему не следует реагировать на не критичные случайные нагревы, так как это создаст ложные срабатывания, мешающее нормальному использованию прибора. Разработка защитной схемы, которая эффективно защитит мотор без ненужных отключений, является сложной задачей.

Рис. 7 показывает, как PolySwitch серии LVR может быть использован в цепи мотора для обеспечения защиты от чрезмерных токов или перегрева. Когда устройство находится в состоянии защиты, оно реагирует на ток, протекающий в моторе, равно как и на температурные перепады, которые могут происходить в течение состояния сбоя.

Главное достоинство устройства PolySwitch в этой области применения — это то, что может быть выбран номинал с током переключения существенно меньше нормальных рабочих токов мотора, но со временем переключения, которое в несколько раз больше полного цикла работы. Это значит, что устройство переключится только после не-

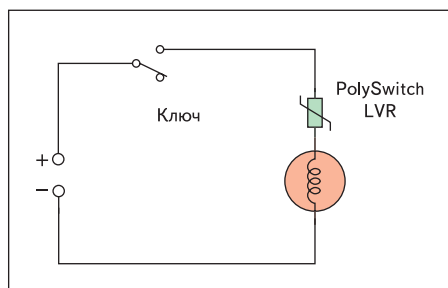


Рис. 7. Стандартная схема применения устройства PolySwitch в цепи мотора

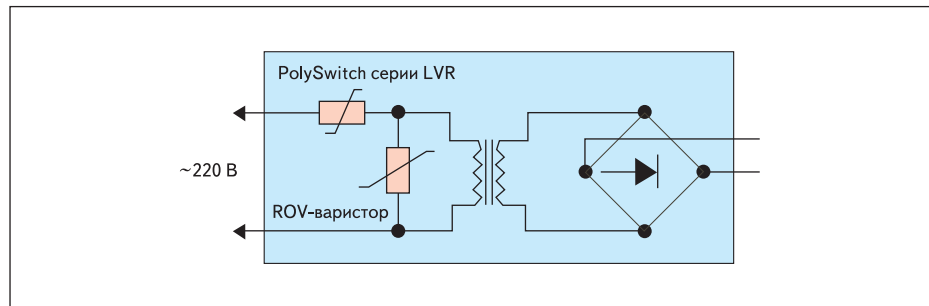


Рис. 8. Согласованная защита по току и напряжению в цепи сетевого напряжения

скольких циклов работы, но будет реагировать намного более резко на ситуацию с заклиниванием двигателя, когда ток двигателя становится в несколько раз больше тока срабатывания PolySwitch.

Способы защиты моторов непрерывного действия

Моторы непрерывного действия, такие как используются в холодильниках и системах кондиционирования воздуха, оптимизируются по размерам и цене. Так как они чаще всего управляют вентиляторами, часть воздушного потока может проходить через мотор, что будет заставлять работать мотор с большей нагрузкой, чем предполагалось. В результате, ток заклинивания такого мотора только в 2 раза превышает рабочий ток, тогда как в остальных случаях применения таких моторов это отношение составляет 3–4. Это осложняет подбор предохранителя по параметрам и размерам, который бы гарантированно реагировал в случае вынужденной остановки вентилятора, и в то же время не срабатывал бы ошибочно сразу после включения.

Как уже было сказано при описании способов защиты моторов прерывного действия, устройства Raychem PolySwitch обеспечивают существенные преимущества в схемах защиты электродвигателей.

В случае защиты вентилятора извлекать выгоду из расположения в потоке воздуха может и PolySwitch, и мотор. В таком случае ток срабатывания ППТК-устройства значительно увеличится, так как поток воздуха не будет давать температуре достигать значения срабатывания. Однако, если вентилятор остановится по какой-либо внешней причине, охлаждающий эффект потока воздуха исчезнет, что станет причиной быстрого нагрева перегруженного двигателя и устройства PolySwitch. Такие условия заставят PolySwitch сработать и ограничить ток, протекающий к мотору.

В отличие от предохранителя одноразового использования, устройство PolySwitch позволяет предотвратить ущерб в случаях, когда сбой может повлечь за собой повышение температуры при незначительном изменении тока, обеспечивая защиту и по температуре, и по току в одном элементе.

Согласованная защита для сетевых напряжений

Электрическое оборудование может оказаться уязвимым в случае больших скачков напряжения или мощности в сетевом питании, вызванных разрядом молнии или скачками переключающих нагрузок на электростанции. Мировым стандартом тестирования условий тока и напряжения для оборудования, подключаемого к сетевому питанию, является документ IEC 61000-4-5.

Согласованная защита по току и напряжению позволит создать прибор, соответствующий требованиям стандартов по безопасности, а также снизить количество используемых компонентов и уменьшить стоимость. Рис. 8 демонстрирует, как металлооксидный варистор серии ROV производства компании Raychem Circuit Protection используется в комбинации с PolySwitch серии LVR для повышения надежности оборудования в жестких условиях работы сетей переменного тока. Это решение также обеспечивает соответствие требованиям IEC 61000.

Варисторы серии ROV используются для защиты по напряжению в источниках питания, платах управления, трансформаторах и электрических моторах благодаря функционированию на больших токах, способности к поглощению энергии, быстрому действию и низкой стоимости. Устройства защиты по току PolySwitch серии LVR сертифицированы UL для напряжений ~240 В и способны функционировать на максимальных напряжениях до ~265 В и, соответственно, могут быть установлены совместно с ROV в цепях, подключенных к сетевому питанию.

В отличие от предохранителей по току одноразового действия, восстанавливаемые устройства PolySwitch позволяют предотвратить ущерб в случаях, когда сбой может повлечь за собой повышение температуры при незначительном изменении тока. В случае установки в первичную цепь вблизи компонентов с возможным выделением тепла, таких как электромагниты, обмотки электродвигателей, полевые транзисторы или мощные резисторы, устройство PolySwitch осуществляет защиту и по току, и по температуре в одном компоненте.

Таблица 3. Электрические характеристики PolySwitch линейки LVR фирмы Raychem, выпускаемые на данный момент

	I_H , А	I_T , А	U_{max} , В	I_{max} , А	Время срабатывания		R_{min} , Ом	R_{max} , Ом	R_{1max} , Ом
					при I , А	с			
LVR005K	0,05	0,12	240	1	0,25	15	18,5	31	65
LVR005S	0,05	0,12	240	1	0,25	15	18,5	31	65
LVR008K	0,08	0,19	240	1,2	0,4	15	7,4	12	26
LVR008S	0,08	0,19	240	1,2	0,4	15	7,4	12	26
LVR012K	0,12	0,3	240	1,2	0,6	15	3	6,5	12
LVR012S	0,12	0,3	240	1,2	0,6	15	3	6,5	12
LVR016K	0,16	0,37	240	2	0,8	15	2,5	4,1	7,8
LVR016S	0,16	0,37	240	2	0,8	15	2,5	4,1	7,8
LVR025K	0,25	0,56	240	3,5	1,25	18,5	1,3	2,1	3,8
LVR025S	0,25	0,56	240	3,5	1,25	18,5	1,3	2,1	3,8
LVR033S	0,33	0,74	240	4,5	1,65	21	0,77	1,24	2,6
LVR033K	0,33	0,74	240	4,5	1,65	21	0,77	1,24	2,6
LVR040K	0,4	0,9	240	5,5	2	24	0,6	0,97	1,9
LVR040S	0,4	0,9	240	5,5	2	24	0,6	0,97	1,9
LVR055K	0,55	1,25	240	7	2,75	26	0,45	0,73	1,45
LVR055S	0,55	1,25	240	7	2,75	26	0,45	0,73	1,45
LVR075S	0,75	1,5	240	7,5	3,75	18	0,32	0,48	0,84
LVR100S	1,00	2,00	240	10	5	21	0,22	0,33	0,58
LVR125S	1,25	2,5	240	12,5	6,25	23	0,17	0,18	0,44
LVR200S	2,00	4,00	240	20	10	28	0,09	0,13	0,22
LVRL075S	0,75	1,52	120	7,5	3,75	14,4	0,25	0,39	0,69
LVRL100S	1,00	2,00	120	10,0	5,00	13,6	0,18	0,27	0,47
LVRL125S	1,25	2,50	120	12,5	6,25	20,0	0,11	0,18	0,33
LVRL135S	1,35	2,70	120	13,5	6,75	20,0	0,11	0,17	0,30
LVRL200S	2,00	4,20	120	20,0	10,00	36,0	0,08	0,12	0,21

Примечания:

I_H — рабочий ток. Это наибольший установившийся ток, который (при определенных условиях окружающей среды) может протекать через PolySwitch без перехода элемента в высокоомное состояние.

I_T — ток срабатывания. Это наименьший установившийся ток через PolySwitch, который вызовет его переход в высокоомное состояние (при определенных условиях окружающей среды).

$[R_{min}; R_{max}]$ — диапазон сопротивлений для устройства конкретного типа.

R_{1max} — максимальное сопротивление PolySwitch при комнатной температуре через 1 час после срабатывания или после монтажа (установки) компонента.

При выборе устройства PolySwitch главным критерием является правильный подбор значения номинального тока устройства

в соответствии с рабочим током, протекающим к электрооборудованию в условиях нормальной работы.

Заключение

Согласованная защита по току, температуре и напряжению поможет разработчикам снизить количество компонентов и случаи возврата по гарантии в результате сбоев в работе моторов, контроллеров и трансформаторов. Низкое сопротивление, малое время на переключение, малые размеры и восстанавливаемая функциональность PolySwitch серии LVR позволяет проектировщикам реализовывать безопасные и надежные схемы, соответствующие требованиям безопасности.

Линейка элементов серии LVR в настоящее время охватывает устройства ППТК на ток от 50 мА до 2 А. Подробное описание каждого элемента сведено в таблице 3.

Устройства PolySwitch предназначены для самых разных разработок, соответствуют стандарту UL 1434, одобрены CSA и TUV, соответствуют RoHS, применимы с бессвинцовым припоем и в массовом производстве. ■

Литература

1. Circuit protection Databook. 2004.
2. Circuit protection catalog. 2007.
3. www.circuitprotection.ru
4. Полисвитч — полимерные самовосстанавливающиеся предохранители. <http://www.konkurel.ru/raychem/polyswitch/index.php>
5. Наиболее часто задаваемые вопросы (FAQ) по элементам защиты по току PolySwitch. <http://www.konkurel.ru/raychem/faq.php>
6. Курышев К. Все, что вы хотели узнать о PolySwitch, но боялись спросить // Компоненты и технологии. 2006. № 3.