

Новый инновационный самовосстанавливающийся компонент защиты для силовых литий-ионных аккумуляторов

Быстро расширяющийся рынок силовых литий-ионных аккумуляторов, используемых в переносных электроприборах, велосипедах с электрической тягой и источниках бесперебойного питания, создал потребность в рентабельных самовосстанавливающихся устройствах защиты электрических цепей от перегрузок по току (свыше 30 А при постоянном напряжении до 30 В). Чтобы удовлетворить эту потребность, компания Tuso Electronics/Raychem Circuit Protection создала гибридное устройство, состоящее из соединенных параллельно друг другу биметаллического предохранителя и самовосстанавливающегося устройства защиты PolySwitch. Получившийся металлогибридный полимерный термистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления получил обозначение МНР. В совокупности элемент МНР обеспечивает самовосстанавливающуюся защиту от перегрузок по току и контроль состояния силовых контактов биметаллического предохранителя, а именно предотвращает возникновение электрической дуги между контактами и их дребезг. Каким же образом это происходит, мы и рассмотрим в этой статье.

Сергей БЕЛЫХ
bsv@konkurel.ru

Преимущества устройства МНР перед существующими решениями

Силовые литий-ионные аккумуляторы требуют надежной специфической защиты по току. Существующие методы защиты электрических цепей подобных аккумуляторов сложны и дороги, а конкретные устройства защиты занимают много места. В качестве примера таких методов можно привести использование схемных решений на базе интегральных микросхем, силовых MOSFET-транзисторов и радиаторов охлаждения или обычных биметаллических предохранителей. В первом случае защита сложна, дорога и громоздка, во втором имеет большие габариты и низкую надежность, поскольку контакты предохранителя должны быть рассчитаны на токи свыше 30 А, и к тому же из-за электрической дуги и дребезга ограничивается число циклов переключения контактов биметаллического предохранителя.

В свою очередь, новое гибридное устройство МНР, разработанное Tuso Electronics, лишено всех этих недостатков и может полностью или частично заменить собой рассмотренные схемы защиты. К тому же устройство МНР обеспечивает снижение затрат и повы-

шает надежность и долговечность работы силовых литий-ионных аккумуляторов.

Принцип работы

При нормальном режиме работы устройства МНР большая часть тока проходит через контакты биметаллического предохранителя из-за его более низкого контактного сопротивления по сравнению с сопротивлением устройства PolySwitch. Когда происходит, например, заклинивание ротора электродвигате-

ля, контакты биметаллического предохранителя начинают размыкаться, их сопротивление увеличивается, и большая часть тока начинает протекать через устройство PolySwitch. В этом случае предотвращается возникновение электрической дуги между контактами биметалла, поскольку большая часть энергии отводится на PolySwitch. К тому же от этой энергии температура самого устройства PolySwitch растет, и он начинает дополнительно прогревать биметалл, что приводит к устранению дребезга его контактов.

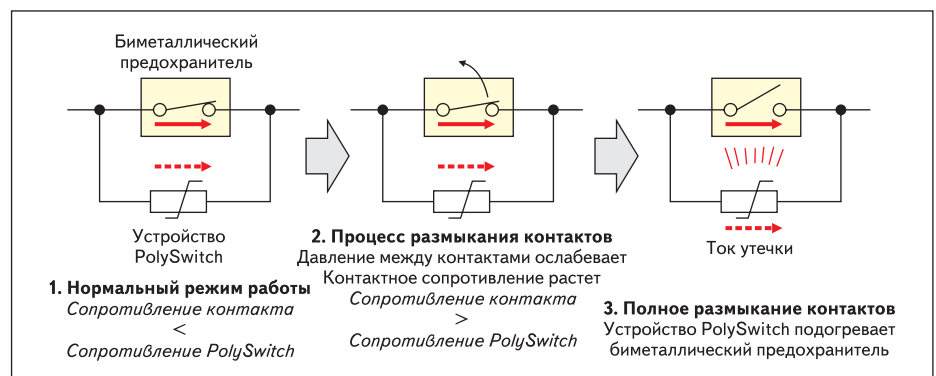


Рис. 1. Принцип работы устройства МНР

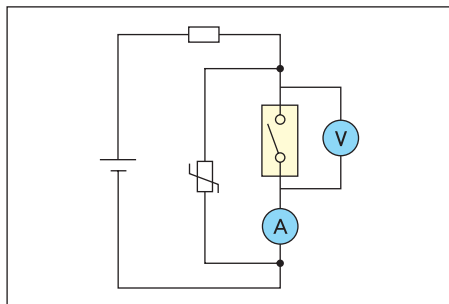


Рис. 2. Электрическая схема параллельного включения биметаллического предохранителя и устройства PolySwitch (тестовая схема)

На рис. 1 показаны шаги срабатывания устройства МНР:

1. Во время нормального режима работы большая часть тока проходит через биметаллический предохранитель, так как сопротивление между биметаллическими контактами станет больше сопротивления PolySwitch, то большая часть тока начнет протекать уже через него. Таким образом предотвращается возникновение электрической дуги между контактами биметаллического предохранителя. А дополнительный подогрев биметалла от PolySwitch позволяет избежать дребезга контактов.
2. Когда контакт начинает размыкаться, его сопротивление растет. Если сопротивление между биметаллическими контактами станет больше сопротивления PolySwitch, то большая часть тока начнет протекать уже через него. Таким образом предотвращается возникновение электрической дуги между контактами биметаллического предохранителя. А дополнительный подогрев биметалла от PolySwitch позволяет избежать дребезга контактов.
3. После полного размыкания контактов сработавшее устройство PolySwitch своей температурой поддерживает контакты биметалла в разомкнутом состоянии, тем самым препятствуя замыканию контактов до устранения неисправности, вызвавшей срабатывание защиты, или до отключения электроприбора от аккумулятора.

На рис. 2 показана схема параллельного включения биметаллического предохранителя и устройства PolySwitch. В дальнейшем по этой схеме проводилось тестирование устройства МНР.

Преимущества объединения биметаллического предохранителя и устройства PolySwitch

На рис. 3 показаны токи и напряжения в схеме с использованием только биметаллического предохранителя. На рис. 3а типовое время размыкания цепи — 1,28 мс при постоянном токе 20 А напряжением 24 В. На рис. 3б изображено состояние размыкания цепи при удвоенном напряжении постоянного тока 48 В. При коротком замыкании или броске тока возникающая электрическая дуга увеличивает время размыкания цепи до 334 мс.

На рис. 4 представлен результат объединения устройства PolySwitch и биметаллического предохранителя. Время, проходящее между тем, когда биметаллический предохранитель начинает действовать, пока устрой-

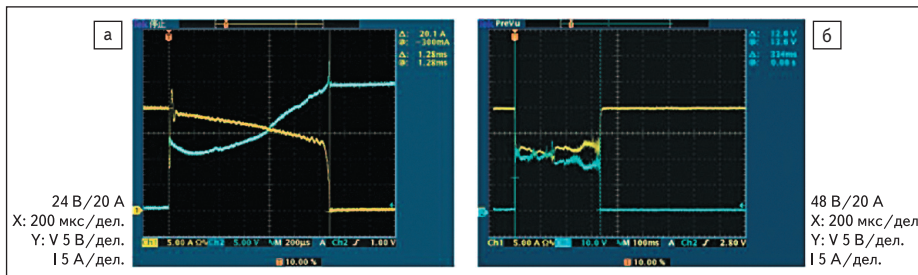


Рис. 3. Срабатывание биметаллического предохранителя при: а) 24 В; б) 48 В

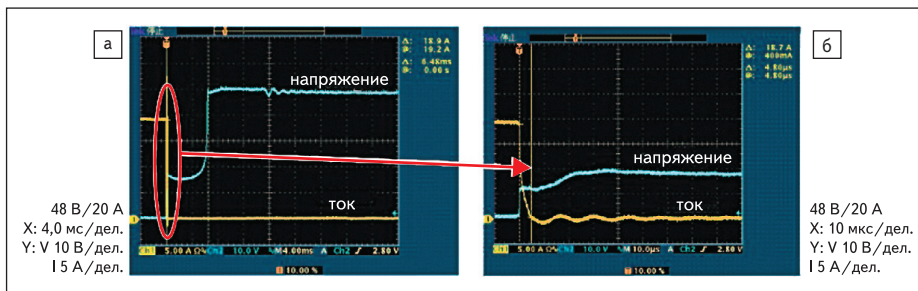


Рис. 4. Срабатывание параллельно соединенных биметаллического предохранителя и устройства PolySwitch при 48 В

ство PolySwitch полностью не сработало, составляет 6,48 мс. На рис. 4б показано время размыкания контактов биметаллического предохранителя — 4,8 мс.

Эти тесты демонстрируют четкую работу гибридного устройства защиты без залипания контактов биметаллического предохранителя и отсутствие дребезга этих контактов.

Особенности устройства МНР

В этом разделе более подробно описаны преимущества, обеспечиваемые устройством МНР по сравнению с типовыми подходами к подобной защите.

Уменьшенный размер контактов и более низкое сопротивление

В типовых биметаллических предохранителях электрическая цепь размыкается только в одном месте. Поэтому для обеспечения коммутации больших токов приходится

увеличивать размеры контактов. Устройство МНР использует контакты с разрывом электрической цепи в двух местах, что уменьшает габариты и массу устройства (рис. 5). Эта технология обеспечивает некоторые преимущества по сравнению с типовыми биметаллическими предохранителями:

- Такие контакты обладают более низким сопротивлением — из-за более короткого пути протекающего тока.
- Нагрев происходит только в точке непосредственного замыкания/размыкания цепи, что позволяет осуществлять более точный тепловой контроль режима работы устройства.
- Такие контакты уменьшают размеры всего устройства.

Для сравнения на рис. 6 приведены стандартные биметаллические контакты. Как видно, контакт разрывает цепь в одном месте и имеет более длинный путь прохождения тока.

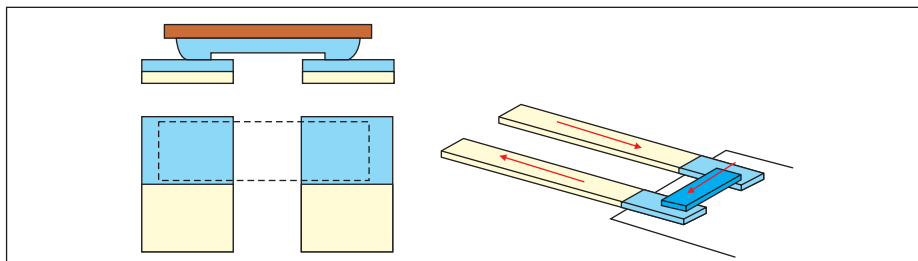


Рис. 5. Конструкция контактов, используемых в устройстве МНР

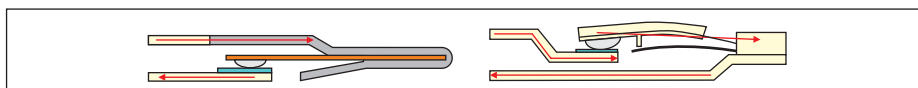


Рис. 6. Конструкция контактов стандартных биметаллических предохранителей



Рис. 7. Конструкция устройства МНР

Улучшенная вибро- и ударостойкость

С помощью рис. 7 можно определить преимущество конструкции устройства МНР, которое позволяет использовать его в условиях постоянных вибраций и ударов. Типичные литий-ионные аккумуляторы, применяемые в носимых электроприборах и подвижной аппаратуре, работают при серьезных и регулярных вибрационных воздействиях. Поэтому устройство МНР нуждается в достаточно сильном давлении между контактами. В обычных биметаллических предохранителях используют, как правило, только пружину, поддерживающую подвижный контакт на неподвижном. Однако при воздействии сильных вибраций, а тем более ударов, такого подхода недостаточно.

Преодолеть эту проблему помогло использование биметаллического диска вместо прямоугольных пластин. Диск способен изменять свою плоскую форму только при на-

греве до определенной температуры и не реагирует на вибрационные воздействия. Кроме того, в конструкцию был добавлен специальный «крюк», позволяющий увеличить давление между контактами, обеспечиваемое биметаллическим диском. Устройство МНР выдержало 1000 ударов с ускорением 1500g без отказов и 3 удара с ускорением 3000g.

Тестирование цикла переключения

На рис. 8 представлена зависимость сопротивления устройства МНР от температуры. Значения температуры открытия/закрытия контактов устройства могут быть изменены согласно требованиям конкретного применения путем подбора соответствующего биметаллического диска.

На рис. 9 можно видеть, как устройство МНР300 выдерживает более 500 циклов переключения.

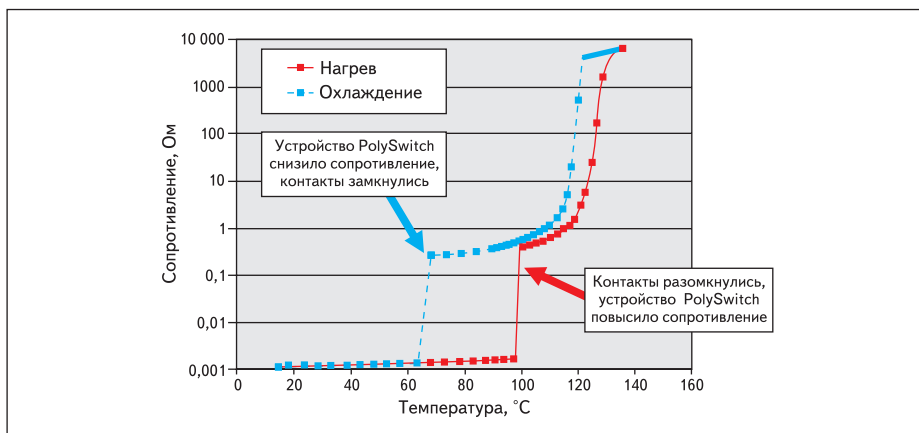


Рис. 8. Зависимость сопротивления от температуры устройства МНР

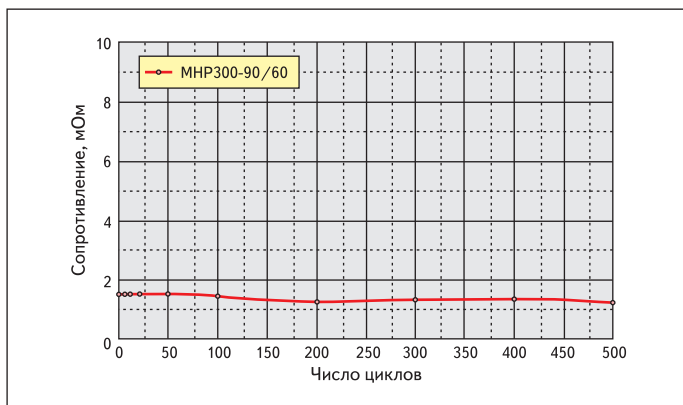


Рис. 9. Жизненный цикл устройства МНР при 3600 В DC/100 А

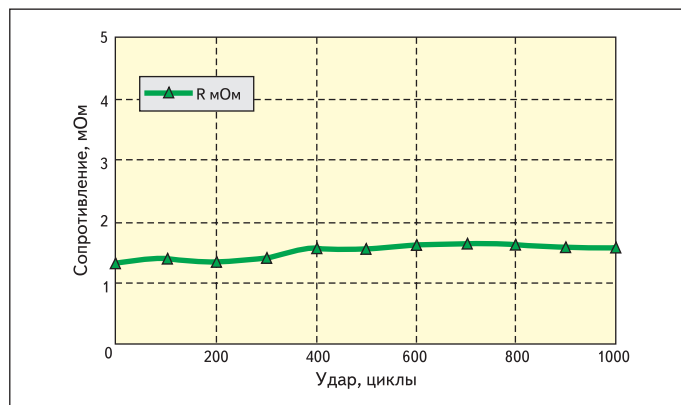


Рис. 10. Тест на ударостойкость 1500g/1000. Без нагрузки

На рис. 10 показано изменение сопротивления устройства во время воздействия ударов с ускорением 1500g в течение 1000 циклов. Как видно на рисунке, даже на протяжении 1000 регулярных ударов контакты устройства МНР ни разу не разомкнулись.

На рис. 11а изображен ударный тест с ускорением 1500g в течение 1000 раз под нагрузкой с потребляемым током 1 А. А на рис. 11б показан тот же тест, но он проведен трижды с ускорением 3000g. Видно, что даже под нагрузкой контакты устройства не размыкались.

Экономическая выгода

Применение устройства МНР в переносной аппаратуре с аккумуляторным питанием может привести к снижению ее стоимости по сравнению с использованием типовой схемы (рис. 12). Связка устройства МНР с *n*-канальным MOSFET-транзистором (для контроля заряда) способна заменить собой два дорогих *p*-канальных MOSFET-транзистора. Другая потенциальная выгода может заключаться в переносе интегральной схемы в сам электроприбор, а устройство МНР можно тогда оставить в блоке аккумуля-

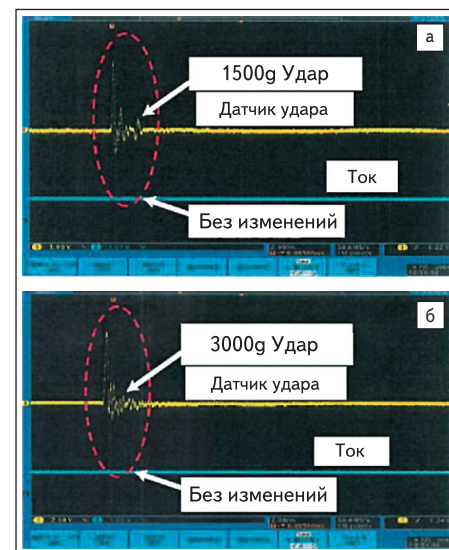


Рис. 11. Тест на ударостойкость (нагрузка 1 А): а) 1500g; б) 3000g

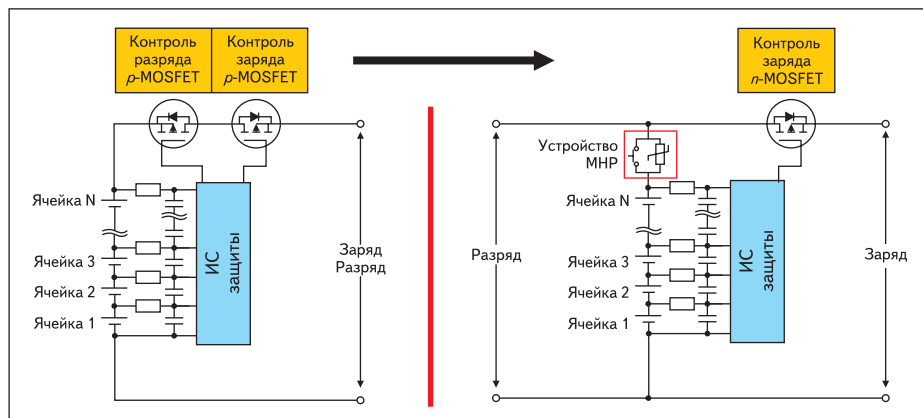


Рис. 12. Пример использования устройства МНР

ляторных батарей, для того чтобы совместить аккумуляторную батарею с электроприборами нового поколения.

Технические характеристики устройства МНР

Таблица содержит технические характеристики устройства МНР, которое имеет максимальные параметры по напряжению и току (36 В DC/100 А) и время срабатывания менее пяти секунд при токе 100 А (при 25 °С). Рабочий ток устройства — 30 А, а начальное сопротивление — до 2 мОм, что меньше, чем у типичных биметаллических предохранителей (от 3 до 4 мОм).

Время срабатывания при токе 50 А составляет 25 ± 5 с. Это значение достаточно мало, чтобы помочь защитить аккумуляторную батарею от перегрева из-за переразряда, и позволяет оператору электроприбора не отвлекаться на «ложные» срабатывания.

Время срабатывания при токе 100 А является самым важным параметром при условии

Таблица. Технические характеристики МНР30

Параметр	Значение
Предельные напряжения и токи	36 В/100 А постоянного тока
Рабочий ток при 25 °С, максимальный	30 А
Начальное сопротивление	0,8–2 мОм
Время срабатывания (60 А при 25 °С)	17 ± 5 с
Время срабатывания (100 А при 25 °С)	3,5 ± 1,5 с
Время сброса при 25 °С	15–45 с
Ударостойкость (нагрузка 1 А)	1500g/1000 циклов
	3000g/3 цикла

защиты аккумуляторной батареи от любой чрезвычайной ситуации, это может быть, например, заклинивание ротора при сверлении отверстий. Время срабатывания не должно превышать пяти секунд. Время сброса (возврата в рабочее состояние) не должно быть больше 30 с, что позволяет удержать батарею от перегрева и не утомить оператора ожиданием.

На рис. 13 представлен внешний вид и габариты устройства МНР, с рабочим током 30 А. Этот размер соответствует размеру обычного биметаллического предохранителя, но с рабочим током 15 А. Кроме этого,

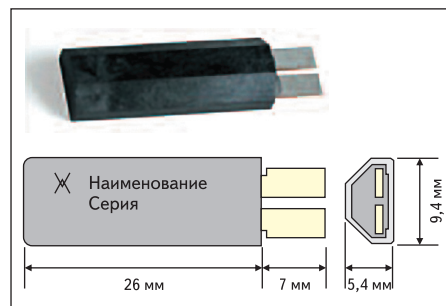


Рис. 13. Внешний вид и габариты устройства МНР

устройство имеет плоские углы на одной стороне и может устанавливаться между стандартными литий-ионными ячейками диаметром 18 мм в аккумуляторной батарее.

Заключение

Доступное в удобном маленьком корпусе, самовосстанавливающееся устройство МНР30 способно обеспечить защиту цепей с потребляемым током до 30 А при постоянном напряжении до 30 В. При этом благодаря низкому сопротивлению устройства PolySwitch оно подавляет образование электрической дуги между коммутируемыми контактами. А благодаря дополнительному подогреву от PolySwitch устраняется дребезг контактов при работе устройства.

Технология устройства МНР позволяет проектировать защиту и для других всевозможных применений. В настоящий момент идет разработка такой защиты для напряжений 400 В постоянного тока величиной до 60 А.

Устройство, рассмотренное в статье, может найти применение в ручном электроинструменте, источниках бесперебойного питания, велосипедах с электрической тягой и т. п. ■