

# Плавкий предохранитель — элемент силовой электронной техники

**В последние годы существенно возрос уровень сложности силовых электронных устройств, применяемых на объектах транспорта, добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности, в системах генерирования и распределения электрической энергии. Одновременно с усложнением силовых устройств, увеличением их функциональности и улучшением экономичности важным условием успешной работы таковых является надежная защита силовых полупроводниковых приборов, трансформаторов, коммутирующих, фильтровых и накопительных конденсаторов, токоведущих устройств в условиях аварийных и перегрузочных режимов. Отсутствие или неправильное применение должных элементов защиты существенно снижает экономический эффект от применения современных преобразовательных устройств большой мощности из-за высокой стоимости комплектующих и работ по их замене в случае выхода из строя, не говоря уже об убытках, вызванных простоем технологического оборудования, транспортных средств и т. п.**

**Дмитрий Андронников**

adv@west-l.ru

**Д**ля лучшего понимания средств и методов защиты электрических и электронных устройств в аварийных и близких к таковым режимам рассмотрим наиболее характерные режимы перегрузок электрических цепей. В большинстве случаев все электрические аварийные режимы могут быть отнесены к одной из двух категорий — перенапряжения и экстратоки. Первые происходят при воздействии на линии электропередачи и оборудование грозовых разрядов, при резкой коммутации тока в линиях и устройствах со значительной индуктивностью, при неправильном функционировании преобразовательных систем и т. д. Вторые могут быть вызваны короткими замыканиями, механическими перегрузками электроприводов, неисправностями в электронных силовых блоках и т. п.

В общем случае, экстраток называют любой ток в цепи, превосходящий по значению ток в цепи при нормальных рабочих условиях. Существует два типа экстраток — токи перегрузки и токи короткого замыкания. Током перегрузки обычно считают ток, превышающий ток в рабочих условиях, но протекающий через проводимости элементов цепи и нагрузки, которые имеют существенную (с учетом значения рабочего тока) величину. Зачастую токи перегрузки превышают номинальный рабочий ток в 1,5–6 раз. Обычно они вызваны пусковыми токами электродвигателей в момент запуска, токами намагничивания сердечников трансформаторов, зарядом конденсаторов фильтров и т. п. Такие токовые перегрузки безопасны и называются рабочими перегрузками. Длительности рабочих перегрузок относительно невелики, и, соответственно, перегрев устройств за их счет очень незначителен. Перегрузки, длительные по времени, обычно происходят из-за механических повреждений электродвигателей приводов, нагрузки на оборудование, превышающей

расчетную, подключения к одной цепи большого количества потребителей электроэнергии. Перегрузки по току такого характера могут вызывать существенное повышение температуры проводников, преобразователей, трансформаторов и выход их из строя. Однако из-за относительно небольшой величины тока в цепи (по сравнению с коротким замыканием) повреждения оборудования носят не мгновенный характер, а требуют достаточно длительного времени и могут быть легко предотвращены. Током короткого замыкания (КЗ) называют ток, протекающей в цепи, проводимость которой существенно выше, чем проводимость в нормальных условиях. При коротком замыкании ток в цепи может превышать рабочий ток в сотни и тысячи раз. Если цепь с таким током не разорвать в течение разумного времени (максимально — единицы секунд, обычно — гораздо меньше), то повреждения оборудования, вызванные столь большими токами, могут быть фатальными — это разрушение изоляторов, расплавление и испарение проводников, дугообразование, воспламенение горючих материалов. Кроме того, большие значения токов короткого замыкания вызывают значительные силы магнитного взаимодействия токонесущих проводников, приводящих их к деформации и разрушению. Короткие замыкания являются одной из важных причин пожаров в быту и на производстве, приносящих огромные убытки.

Наиболее надежным средством защиты от экстраток, не зависящим от внешних условий, механического состояния и т. п., являются плавкие предохранители. Работа этих приборов основана на свойствах «плавкой перемычки», помещенной в корпус и подключенной к выводам. Электрическое сопротивление перемычки достаточно мало, поэтому в нормальных условиях она играет роль обычного проводника. При превышении тока в цепи номи-

нального значения, на которое рассчитана перемычка, количество тепла, выделяемое в ней, растет. Это приводит к увеличению ее сопротивления и, соответственно, к дополнительному разогреву. Процесс развивается лавинообразно и, в конечном итоге, приводит к расплавлению перемычки, тем самым разрывая защищаемую от экстратоков цепь. Чем больше величина экстратока, тем быстрее плавится перемычка. Это фундаментальное свойство позволяет использовать плавкие предохранители для надежной защиты цепей даже от токов короткого замыкания. Несмотря на то, что плавкие предохранители как устройства защиты электрических цепей известны и применяются уже почти полторы сотни лет, ряд их характеристик остается непревзойденными другими системами токовой защиты. В частности, плавкие предохранители:

- отличаются очень высокой стабильностью времятоковых характеристик и не требуют периодического обслуживания и ремонта;
- обладают очень высокой разрывной способностью, то есть могут выдерживать очень большие токи без физического разрушения конструкции;
- не дают «лавинных» сгораний: при правильном выборе, в аварийном режиме сгорает только ближайший к аварийному участку предохранитель, таким образом обеспечивается выборочная защита и обесточивание цепей;
- обеспечивают оптимальную токоограничивающую защиту цепей — в силу своих рабочих характеристик.

Современный плавкий предохранитель представляет собой достаточно сложное электротепломеханическое устройство со стабильными характеристиками и свойствами, знание которых является необходимым условием успешного применения предохранителей и надежной защиты силовых систем в аварийных режимах. И если еще 40–50 лет назад во многих случаях считалось допустимым применение вместо плавких предохранителей обыкновенных железных гвоздей (в некоторых справочниках по электротехнике издания 50–60-х годов прошлого века даже приводились данные по току плавления гвоздей различных диаметров и длин), то сегодня в условиях массового применения полупроводниковых преобразователей, трансформаторов и конденсаторов в большой удельной мощности, такой подход не просто неприемлем, а недопустим в принципе, поскольку может привести к очень серьезным авариям.

Обратимся к основным характеристикам, определяющим типы предохранителей.

**Номинальное напряжение.** Его значение для предохранителя должно быть равно или выше напряжения в защищаемой цепи. Предохранитель на напряжение 600 В может быть использован для защиты цепей с напряжением 220 В, но не наоборот. Номинальное напряжение характеризует способность предохранителя разрывать цепь, находящуюся под напряжением в условиях перегрузки, в частности, гашение вольтовой дуги, возникающей при плавлении перемычки. Предохранитель с номинальным напряжением, меньшим, чем на-

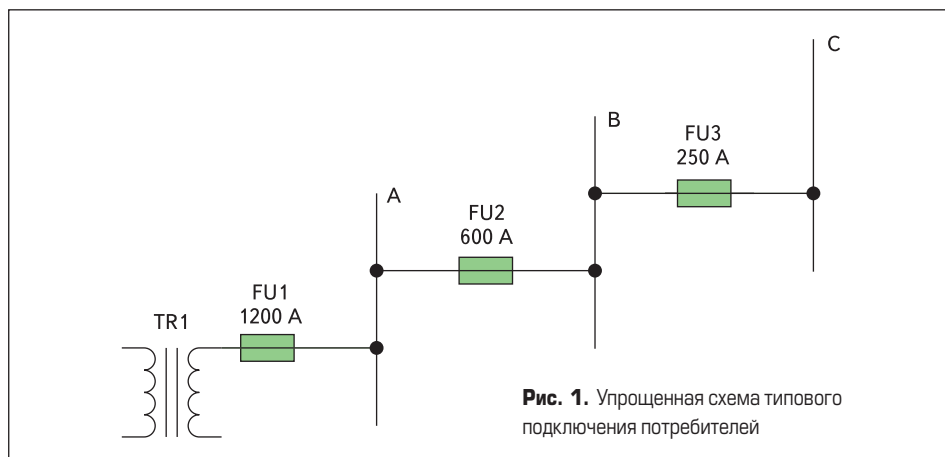


Рис. 1. Упрощенная схема типовой подключения потребителей

пряжение в цепи, в ряде случаев может не погасить дугу за требуемое время, в результате чего цепь не будет разорвана больше времени, чем это допустимо. Это особенно важно для предохранителей, защищающих полупроводниковые преобразователи, поскольку именно для таких устройств очень важно разорвать цепь за минимально возможное время.

**Номинальный ток.** Это основная характеристика любого предохранителя. При выборе прибора по его номинальному току необходимо учитывать конкретные условия работы предохранителя, в частности, вид нагрузки цепи. Номинальный ток предохранителя не должен превышать допустимую величину тока цепи. Например, если проводник рассчитан на пропускание тока в 20 А, то максимальная величина номинального тока предохранителя для данной цепи равна 20 А.

Однако из этого правила есть и исключения (как обычно, лишь подтверждающие правило). Типичный случай — цепи питания электродвигателей. Для того чтобы при пуске двигателя под нагрузкой не произошло сгорание предохранителя, допустимо выбирать быстродействующие предохранители на номинальный ток в 3 раза выше долговременного тока, потребляемого двигателем при полной нагрузке, а предохранители с медленным срабатыванием — на ток, в 1,75 раза превышающий указанный ток двигателя.

**Разрывная способность.** Любое устройство токовой защиты электрической цепи должно выдерживать без физического разрушения передачу энергии короткого замыкания. Если ток короткого замыкания будет больше, чем ток, который способно выдержать устройство защиты, то оно может разрушиться, усугубляя тем самым аварийную ситуацию. Таким образом, применяемое устройство защиты (в частности, предохранитель) должно быть способно выдержать любой теоретически возможный аварийный ток. Наибольшая величина этого тока называется максимальным разрывным током или разрывной способностью предохранителя.

С точки зрения величины разрывной способности современные плавкие предохранители существенно превосходят своих конкурентов — термоэлектрические и электромагнитные автоматы. Так, типовое значение разрывной способности автоматов широкого применения превышает 10–12 кА, в гораздо более дорогих автоматах специальных конструкций — 18–25 кА, в то время как для большин-

ства предохранителей типовое значение составляет 40–50 кА, а для ряда приборов разрывная способность может достигать 200–400 кА. Поэтому именно плавкие предохранители используются для защиты автоматов защиты — как менее надежных устройств.

Рассмотрим две важные особенности применения плавких предохранителей.

**Последовательная защита и предотвращение лавинных сгораний.** Правильно выбранные величины номинального тока предохранителей в различных участках цепи позволяют в случае аварии в какой-либо одной ветви обесточить только эту ветвь, без обесточивания других устройств, расположенных ближе к источнику энергии, чем аварийное. Это свойство хорошо иллюстрирует упрощенная схема куста потребителей электроэнергии, приведенная на рис. 1.

При аварии в ветви «С» сгорает лишь предохранитель FU3, таким образом, другие потребители, подключенные к ветви В, не обесточиваются и продолжают функционировать. Аналогично, потребители, подключенные к ветви «А», продолжают функционировать независимо от аварийной ситуации в ветви «В». Такое выборочное отключение и локализация аварийных участков цепей с помощью плавких предохранителей легко реализовать, выбрав соотношение рабочих токов 2:1 (или более) для каждой нисходящей ветви.

**Ограничение тока цепи и защита ее элементов.** Защитные устройства, не ограничивающие ток короткого замыкания цепи (в частности, автоматы и контакторы) до момента отключения цепи, пропускают импульсы тока значительной величины, способные вывести из строя полупроводниковые приборы, либо повредить другие элементы защищаемой цепи. Указанный недостаток работы устройств автоматической защиты демонстрирует рис. 2.

Плавкие предохранители как устройства, ограничивающие максимальный импульс тока короткого замыкания цепи, определяют существенно меньшую величину энергии, выделяющуюся в аварийной цепи. Это хорошо видно на диаграмме (рис. 3).

Устройство защиты является токоограничивающим, если оно обеспечивает спад тока короткого замыкания менее чем за четверть периода переменного тока первичной сети, тем самым не позволяя току короткого замыкания достичь своего максимального значения. Большинство современных плавких предохрани-



телей отвечают данному условию и ограничивают токи КЗ на таком уровне, который позволяет избежать серьезных повреждений элементов цепей даже при тяжелых авариях. Это дает возможность:

- применять автоматы с меньшими установками тока;
- облегчить и упростить системы крепления и изоляторы токоведущих шин;
- снизить требования по устойчивости к большим значениям токов к остальным элементам силовых цепей.

Не будучи ограничены по времени и величине, токи КЗ многих электрических цепей могут достигать 30–50 кА (и более) за четверть периода первичной сети (5 мс для цепей переменного тока промышленной частоты 50 Гц) с момента короткого замыкания. Огромное количество тепла, выделяемое в режиме КЗ в цепи, может нанести серьезные повреждения изоляции, расплавить токоведущие шины, а в ряде случаев привести к взрыву силовых устройств (в частности, маслонаполненных трансформаторов). Существенные магнитодинамические силы между проводниками со столь большими токами способны разрушить крепления и изоляторы, исказить структуру обмоток трансформаторов и т. п. Избежать всех этих неприятностей позволяет защита электрических цепей с помощью плавких предохранителей.

Проанализируем особенности конструкции и работу современных низковольтных (до 1–2 кВ) предохранителей.

**1) Предохранители одиночного действия (одноэлементные)**

На рис. 4 представлен разрез современного цилиндрического одноэлементного предохранителя:



Основным элементом предохранителя является плавкая перемычка. В зависимости от номинального тока в одном предохранителе перемычек может быть от одной до десяти. Вид, геометрические размеры и профиль перемычки проектируется исходя из требуемых свойств предохранителя. Для уменьшения потерь в приборе перемычки обычно изготавливаются из меди, серебра и их сплавов с другими металлами, которые характеризуются малым удельным сопротивлением. Концы перемычек привариваются или припаиваются к выводам предохранителя, которые, в зависимости от типа и назначения, могут быть ножевыми, цилиндрическими, плоскими шинами и контактными плоскостями. Корпус предохранителя изготавливается из материалов с высокой электрической и механической прочностью, чаще всего из керамики специальных типов. Внутри корпуса обычно засыпают дугогасящий наполнитель — чистый кварцевый песок или тонкую крошку оксида алюминия.

В нормальных условиях, когда ток, идущий через предохранитель, меньше или равен номинальному, прибор работает, как проводник электрического тока. При превышении током номинального значения более–менее длительное время, тонкие участки перемычки быстро нагреваются, их температура достигает температуры плавления материала, и перемычка плавится, разрывая защищаемую цепь (рис. 5).

При этом ток в цепи разрывается не сразу, поскольку в образовавшемся разрыве возникает электрическая дуга. Высокая температура дуги вызывает быстрое плавление металла перемычки и увеличение длины разрыва. Наполнитель способствует быстрому охлаждению дуги, ее разветвлению и удлинению, что су-

щественно уменьшает время ее горения. Длина дуги и ее сопротивление растут и в результате достигают таких значений, при которых дуга гаснет. В этот момент предохранитель полностью разрывает электрическую цепь.

Современные одноэлементные предохранители обладают очень малым временем реакции на возникновение экстратока, обеспечивая надежную и быстродействующую защиту от коротких замыканий. Однако длительно протекающие токи рабочих перегрузок могут вызывать нежелательные срабатывания таких предохранителей, если их номинальный ток был выбран без соответствующего запаса. Предохранители такого типа лучше применять для защиты цепей с активной нагрузкой (нагревательные элементы, резисторы, гальванические ванны и т. д.), для которых не характерны значительные токи рабочих перегрузок.

Токи коротких замыканий обычно многократно превосходят токи в нормальных условиях и токи рабочих перегрузок, достигая десятков–сотен кА. При столь высоких значениях тока плавкий предохранитель срабатывает очень быстро.

В показанном на рис. 6 предохранителе под воздействием тока КЗ плавятся одновременно все тонкие участки перемычки, поскольку тепло от участков, расположенных ближе к выводам, не успевает отводиться к ним за время порядка 1–10 мс. Это существенно уменьшает время горения дуги и, соответственно, время полного разрыва цепи, которое, в результате, не превышает даже четверти периода тока питающей сети.

**2) Предохранители двойного действия (двухэлементные, с задержкой срабатывания)**

Рассмотренные выше одноэлементные предохранители оптимальны для защиты цепей







Рис. 6. Срабатывание плавкого предохранителя под воздействием тока короткого замыкания

с постоянным током потребления или с небольшими его колебаниями. Для защиты цепей с большими колебаниями потребляемого тока и частыми его превышениями значений, характерных для установившегося режима, (электропривод, трансформаторы и т. д.) одноэлементные предохранители приходится выбирать с 3–4-кратным запасом, что может снизить надежность защиты в аварийных перегрузочных режимах. Предохранители двойного действия (иначе — двухэлементные, или с задержкой срабатывания) позволяют обеспечить более надежную защиту потребителей сетей с большим диапазоном токов рабочих перегрузок. Действие предохранителей основано на том, что при перегрузочном токе срабатывает элемент одного типа, а при коротком замыкании — другого, аналогичный элементу рассмотренных выше предохранителей. Оба элемента выполнены в единой конструкции и электрически соединены последовательно. Вид части такой конструкции представлен на рис. 7.

Рис. 8 демонстрирует работу двухэлементного предохранителя в случае возникновения в цепи тока перегрузки.

Под воздействием тока перегрузки разогревается пайка, выполненная специальным сплавом с калиброванной теплоемкостью, теплопроводностью и температурой плавления. При достижении температуры плавления сплава пайки он размягчается, и специальная разрывная пружина резко разрывает контакт. Возникающая при этом электрическая дуга быстро гаснет из-за расстояния, на которое разводятся элементы. Из-за значительной массы припоя и держателя этот элемент защиты обладает большой тепловой постоянной времени и не является токоограничивающим, соответственно, не может использоваться для быстродействующей защиты от тока короткого замыкания. В случае воздействия тока короткого замыкания защитные функции в предохранителях двойного действия выполняют расплавляемые участки перемычки (рис. 9).

Дуга, загорающаяся в местах плавления перемычек, быстро гаснет, как за счет быстрого испарения металла перемычки и увеличения длины дуги с соответствующим ростом сопротивления, так и за счет действия сыпучего наполнителя, который быстро поглощает тепло, выделяемое дугой, тем самым снижая степень ионизации и проводимость дуги. Проникая в образовавшееся за счет разрыва перемычек пространство, частицы наполнителя увеличивают длину дуги и при плавлении способствуют изоляции поверхностей элементов перемычки друг от друга. Процессы, происходящие в данном элементе при воздействии

тока короткого замыкания, полностью аналогичны процессам в одноэлементных предохранителях.

Рассмотренные выше конструкции плавких предохранителей используются лишь при невысоких напряжениях в защищаемых цепях (максимально — единицы киловольт). Если же напряжение в цепи имеет сколько-нибудь существенную величину, ориентировочно выше 1500–2000 В, то дугогасящей способности

сыпучего наполнителя недостаточно для гашения дуги в небольших промежутках плавкой перемычки. Для работы в цепях с напряжением выше 2–3 кВ используются предохранители специальной конструкции. На рис. 10 приведен схематический разрез высоковольтного предохранителя, рассчитанного на работу в цепях с напряжением до нескольких десятков кВ.

При воздействии тока перегрузки или тока короткого замыкания рабочий элемент (обычно, для стабильности характеристик предохранителя в условиях воздействия коронного разряда и вызываемой им коррозии поверхности, выполняется из чистого серебра) размягчается (или плавится) и усилием разрывной пружины быстро (единицы миллисекунд) удаляется от неподвижной контактной точки. Загорающаяся при этом дуга вытягивается в область, окруженную дугогасящим материалом, в част-

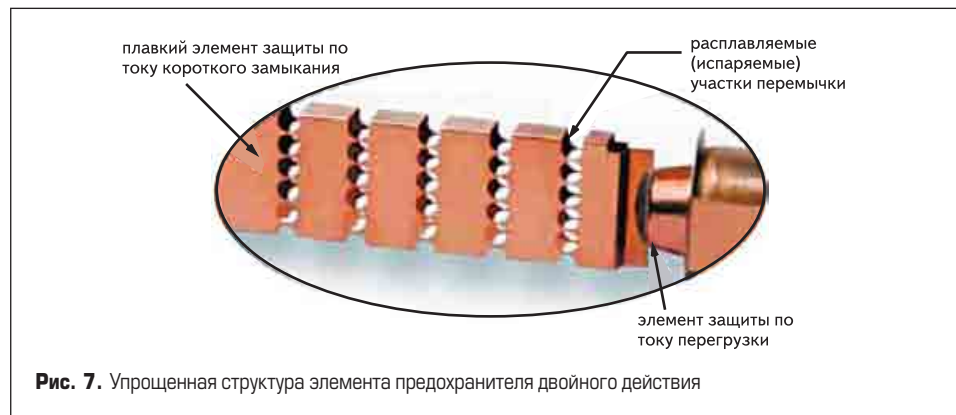


Рис. 7. Упрощенная структура элемента предохранителя двойного действия

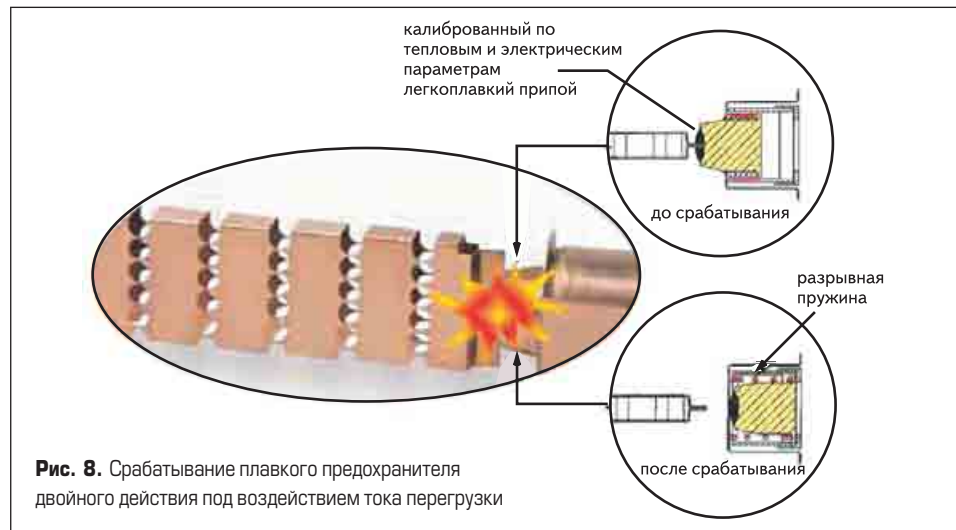


Рис. 8. Срабатывание плавкого предохранителя двойного действия под воздействием тока перегрузки

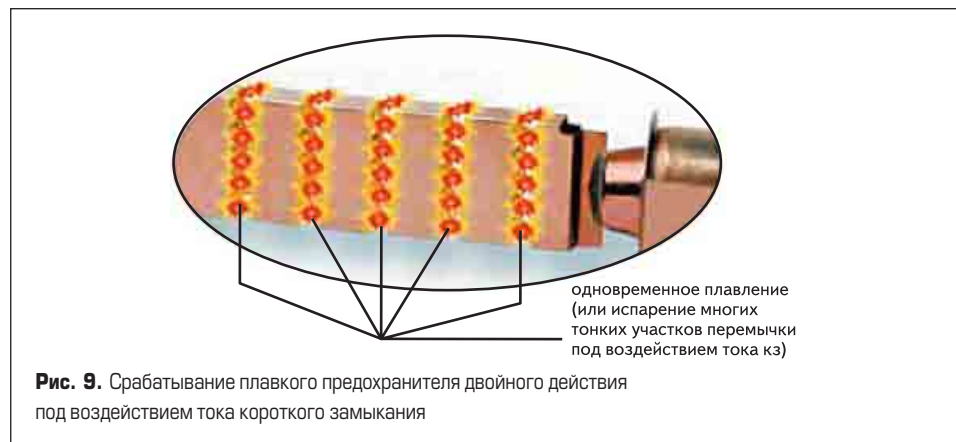


Рис. 9. Срабатывание плавкого предохранителя двойного действия под воздействием тока короткого замыкания



Рис. 10. Устройство высоковольтного предохранителя с дугогашением

ности, борной кислотой, которая под воздействием высокой температуры дуги моментально разлагается на воду и оксид бора. Разложение дугогасящего материала происходит очень быстро, большое количество водяного пара резко охлаждает дугу и одновременно снижает ее проводимость. При срабатывании предохранителя в течение нескольких миллисекунд дуга вытягивается до длины 5–30 см (в зависимости от конструкции прибора) и гаснет, тем самым обеспечивая токоограничивающие свойства. Поскольку в процессе срабатывания внутри корпуса предохранителя создается значительное избыточное давление, то обычно в выводе неподвижной контактной точки предусматривается клапан для сброса давления. Корпус высоковольтного предохранителя изготавливается из материалов с высокой электрической и механической прочностью и малой склонностью к раскалыванию. Это может быть армированный стекловолокном полимер, керамика и стекло специальных сортов. Наличие подвижного элемента позволяет простыми средствами контролировать состояние предохранителя. К таким элементам относятся индикаторы сгорания и специальные микровыключатели, которые непосредственно подают сигнал в диспетчерскую систему о сгорании предохранителя в конкретной цепи. Подобными же устройствами зачастую комплектуются и низковольтные предохранители двойного действия.

Основной функциональной характеристикой любого предохранителя является его времятоковая характеристика, и она всегда приводится в справочных данных производителя на любой тип предохранителей. Эта характеристика показывает зависимость времени полного разрыва цепи от тока через предохранитель. Чем сильнее зависимость времени срабатывания от тока, тем более надежную защиту цепи обеспечит предохранитель в режиме короткого замыкания. С другой стороны, при рабочих перегрузках предохранитель не должен сгорать длительное время. Типичная времятоковая характеристика современного предохранителя двойного действия приведена на рис. 11.

При номинальном токе 200 А предохранитель должен работать неограниченное время. По характеристике видно, что при уменьшении тока время срабатывания в области малых токов быстро растет, кривая зависимости в идеале должна асимптотически стремиться к прямой  $I = 200 \text{ А}$  для времени  $T = +\infty$ . Обратим внимание на то, что в области рабочих перегрузок, то есть в случае, когда ток через предохранитель находится в пределах  $(1...5) \times I_{\text{ном}}$ , время срабатывания предохранителя достаточно велико, во всяком случае, превышает единицы секунд. Так, для нашего примера при токе 1000 А время срабатывания рав-

но 10 с. Такой вид зависимости позволяет защищаемому оборудованию свободно работать во всем диапазоне рабочих перегрузочных характеристик.

При дальнейшем увеличении тока крутизна времятоковой характеристики быстро возрастает, и, уже при одиннадцатикратной перегрузке, время срабатывания составляет всего 10 мс. Дальнейший рост тока перегрузки сокращает время срабатывания еще в большей степени, хотя и не так быстро, как на участке между пяти- и десятикратной перегрузкой. Это объясняется конечной скоростью гашения дуги из-за конечной теплоемкости материала наполнителя, конечной теплоты плавления материала плавкой перемычки и определенной массы плавящегося и испаряющегося металла перемычки. При дальнейшем увеличении тока (более чем 15–20-кратно относительно номинального) время срабатывания плавкого элемента может составлять 0,02–0,5 мс в зависимости от типа и конструкции предохранителя.

Еще одной важной характеристикой предохранителя, как защитного устройства, является так называемый защитный показатель, в зарубежных источниках именуемый  $I^2t$ . Для защищаемой электрической цепи защитный показатель — это количество тепла, выделяемое в цепи с момента возникновения аварийной ситуации до момента полного отключения цепи защитным устройством. Величина защитного показателя конкретного устройства, по сути, определяет предел его устойчивости к тепловому разрушению в аварийных режимах. При вычислении величины защитного показателя используется эффективное значение тока в цепи.

Для предохранителей защитный показатель складывается из двух составляющих:

- 1) Защитный показатель плавления, то есть  $I^2t$  за время плавления перемычки.
- 2) Защитный показатель дугообразования, то есть  $I^2t$  за время существования дуги в предохранителе.

Общий защитный показатель предохранителя вычисляется как сумма указанных выше величин, и его значение обычно приводится в справочных данных.

Информация о величине защитного показателя существенно облегчает выбор предохранителя для защиты полупроводниковых приборов. В общем случае, величина защитного показателя предохранителя должна быть меньше или равной величине защитного показателя полупроводникового прибора.

### Классы предохранителей

Сегодня для большинства предохранителей промышленного применения используется си-

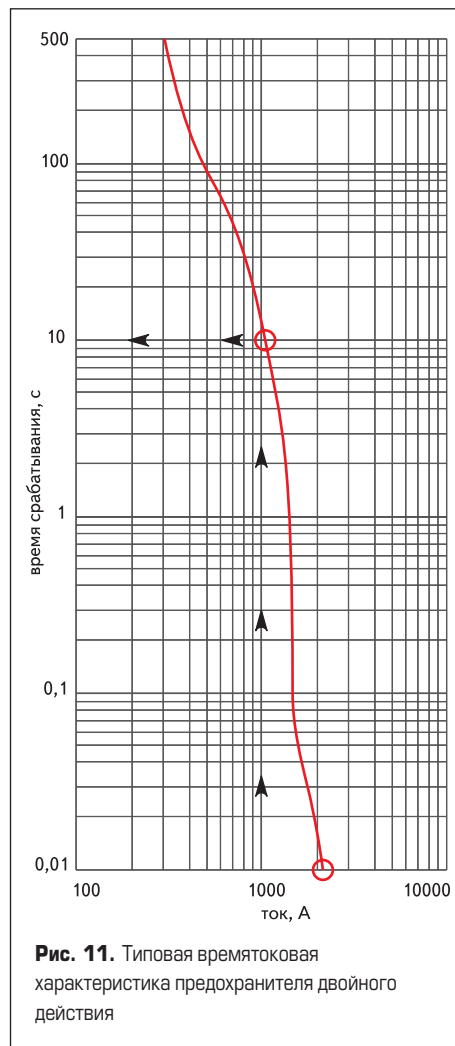


Рис. 11. Типовая времятоковая характеристика предохранителя двойного действия

стема классификации, включающая семь основных типов приборов: gG, aM, gM, aR, gR, gTr, gB.

- aM — предохранители для защиты электродвигателей и кабелей.
- aR — предохранители для защиты полупроводниковых приборов от коротких замыканий.
- gB — быстродействующие предохранители общего применения, пригодные для эксплуатации в шахтном оборудовании.
- gG — универсальные предохранители широкого применения. Применяются для защиты кабелей, электродвигателей, трансформаторов, конденсаторов. Тип соответствует устаревшему типу «gL».
- gR — предохранители для защиты полупроводниковых приборов, в основном, на токи меньше 100 А.
- gRL — предохранители для одновременной защиты полупроводниковых приборов и кабелей. Чаще всего являются предохранителями двойного действия.
- gTr — предохранители для защиты силовых трансформаторов.

### Стандарты предохранителей

Исторически сложилось так, что механическое исполнение корпусов и их габаритные и присоединительные размеры различны в той или иной стране. Существует четыре основных национальных стандарта на присоединительные размеры предохранителей: североамериканский, немецкий, британский и французский.

Есть также ряд корпусов предохранителей, одинаковых для разных стран и не относящихся к национальным стандартам. Чаще всего такие корпуса относятся к стандартам фирмы-производителя, разработавшей конкретный тип прибора, который оказался удачным и закрепился на рынке. В последние десятилетия, в рамках процессов глобализации экономики, производители постепенно присоединяются к международной системе стандартов корпусов предохранителей для упрощения условий взаимозаменяемости приборов. При разработке новой аппаратуры следует стараться использовать предохранители международных стандартов: IEC 60127, IEC 60269, IEC 60282, IEC 60470, IEC60549 и IEC 60644.

При обслуживании находящейся в эксплуатации аппаратуры, в зависимости от страны, где она была произведена, могут встречаться предохранители, выполненные в соответствии с национальными стандартами. Чаще всего аналогичные приборы имеются и в номенклатуре, регламентируемой международными стандартами, но в сомнительных случаях при замене всегда желательна дополнительная идентификация прибора.

Несмотря на то, что плавкие предохранители исторически являются первыми элементами защитных цепей и применяются в электротехнике более сотни лет, они не стали «вымирающим видом», как это прогнозировали некоторые специалисты в 30–50-е годы прошлого века, когда начиналось промышленное внедрение автоматов защиты, а наоборот, существенно расширили область сво-

его применения, являясь надежным средством защиты в аварийных ситуациях и, по сути, «последним рубежом» в защите дорогостоящих и сложных силовых электронных систем.

При подготовке статьи были использованы информационные материалы следующих фирм-производителей: Siba, Cooper Bussmann, Ferraz-Shawmut, General Electric, Eaton, а также следующие Интернет-ресурсы:

1. Официальный сайт Международной Электротехнической Комиссии:  
[http:// www .iec.ch/](http://www.iec.ch/)
2. Официальный сайт Underwriter Laboratories (UL): <http://www.ul.com/>
3. Официальный сайт SIBA:  
[http://www .sibafuses.com/](http://www.sibafuses.com/)
4. Официальный сайт Cooper Bussmann:  
[http://www .cooperbussmann.com/](http://www.cooperbussmann.com/)
5. Официальный сайт General Electric (раздел «энергетика»):  
[http://www .gepower.com/](http://www.gepower.com/)
6. Официальный сайт Eaton:  
[http:// www .eatonelectric.com.au/](http://www.eatonelectric.com.au/)
7. Официальный сайт Ferraz-Shawmut:  
[http:// www .ferrazshawmutsales.com/](http://www.ferrazshawmutsales.com/)

### Литература

1. Чебовский О. Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Sicherungseinsätze für kombinierten Halbleiter — und Leitungsschutz Dipl.-Ing. Thorsten Falkenberg, Technischer Projektleiter im Bereich Halbleiterschutz, SIBA LLC.