

Миниатюрные предохранители SIBA:

«сгорел на работе» — спас оборудование

Немецкая компания SIBA — признанный лидер европейского рынка предохранителей с более чем 50-летним опытом разработки и производства широчайшего спектра устройств плавкой защиты. В данной статье речь пойдет о так называемых миниатюрных предохранителях — наиболее широко используемых в устройствах защиты компонентов электронной аппаратуры от перегрузок.

Michael Schroer
(Михаэль Шроер)

Перевод:
Александр Савельев

asavelyev@west-l.ru

Введение

Небольшой размер и низкая цена — вот два преимущества, которые очевидны для потребителя, когда приходит пора заменить миниатюрный предохранитель. Он также заметит и тот факт, что предохранитель предотвращает что-то более серьезное, например, возгорание, электроудар или какую-либо другую опасность для оператора из-за короткого замыкания в оборудовании. Учитывая маленький размер этих компонентов, мы не предполагаем, что разработка таких элементов потребует обширных знаний. Поэтому конструктор любого электрооборудования должен знать:

- Каковы главные критерии, на основании которых выбирается предохранитель. Ток, напряжение, разрывная способность или времятоковая характеристика.
- Как ведут себя предохранители при рабочем токе и коротком замыкании (КЗ).
- Какие соображения должны приниматься во внимание при выборе цепи, которая будет защищена предохранителем. Будет ли полностью обесточена необходимая часть общей схемы в случае выхода из строя определенного оборудования.
- Насколько надежно работают предохранители.
- Существует ли повторяемость разрывных характеристик предохранителя.

На эти и многие другие вопросы мы ответим в этой статье. Она предназначена для инженеров — разработчиков РЭА, чтобы помочь им на практике из широкого ряда миниатюрных предохранителей выбрать один, наиболее удовлетворяющий их требованиям. Так как читатели не будут сами «конструировать» предохранители, данная статья не содержит всех подробностей и технологических тонкостей, которые были использованы разработчиками пре-

дохранителей, но, несмотря на это, стандартные и некоторые специфические требования, предъявляемые к предохранителям, будут здесь рассмотрены.

В частности, мы проанализируем некоторые специфические особенности предохранителей, которые позволяют получить характеристики, превышающие установленные в стандартах: влияние на окружающую среду, нагрузку и другие параметры.

Рассмотрим структуру предохранителя. В соответствии с определением европейского стандарта, миниатюрный предохранитель состоит из плавкой вставки и держателя. Плавкая вставка — это часть предохранителя, которая заменяется вследствие превышения тока и срабатывания предохранителя. Держатель — часть предохранителя, постоянно размещенная в оборудовании или на нагрузке, которую необходимо защитить.

Плавкая вставка

Плавкая вставка состоит не более чем из трех или четырех частей: изолирующая трубка, выводы, плавкая перемычка и, возможно, наполнитель из песка. На рис. 1 показан наиболее часто встречающийся тип предохранителя с размерами 5×20 мм. Контакт между элементом предохранителя и контактной чашкой осуществляется при помощи пайки. Существует два варианта плавкой вставки:

- с перемычкой, помещенной в дугогасящий наполнитель;
- с перемычкой без наполнителя.

Плавкая перемычка

С электрической точки зрения плавкая перемычка — наиболее важный компонент предохранителя. Во время работы она должна выдерживать полный нагрузочный ток и быстро, как только возможно, разорвать его при перегрузке. Для того чтобы иметь возможность держать ток нагрузки, плавкая перемычка должна иметь наименьшее сопротивление, но для того, чтобы разорвать цепь, нужно иметь, наоборот, максимально возможное сопротивление.

Эти свойства достигаются посредством очень точной градуировки плавкой перемычки — проволоки.

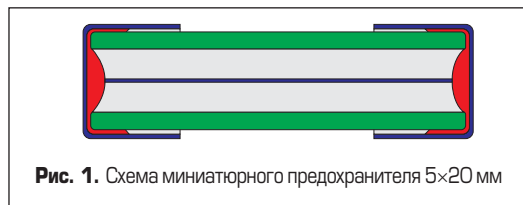


Рис. 1. Схема миниатюрного предохранителя 5×20 мм

В зависимости от величины и типа тока размер проволоки может быть в пределах 0,01–0,5 мм.

Кроме того, путем выбора подходящего материала для перемычки мы оказываем влияние на времятоковые и разрывные характеристики предохранителя. Фактически, используется любой материал, который может быть вытянут в виде металлической проволоки: медь, никель, сталь, а также такие драгоценные металлы, как золото и серебро. Сплавы этих металлов значительно увеличивают количество требуемого материала, применяемого для перемычек. Особенно важно упомянуть здесь сплав меди и серебра.

Если необходимо увеличить сопротивление предохранителя, особенно для низких значений тока, используют плавкую перемычку в виде спирали. В этом случае растет длина перемычки, и, соответственно, сопротивление может быть в несколько раз увеличено. На рис. 2 показаны несколько вариантов таких предохранителей для различных применений.



Рис. 2. Различные виды плавких проволочных перемычек

При высоких значениях рабочего тока за счет поверхностного нагрева плавкой перемычки невозможно соблюсти баланс между максимальным продолжительным током и током срабатывания. В таких случаях в качестве плавкой перемычки используется предохранительная полоска, зауженная в нескольких местах по сечению, которая и позволяет достичь нужных характеристик срабатывания. Изменяя рабочие сечения такой плавкой ленточной перемычки (рис. 3), можно добивать



Рис. 3. Различные виды плавких ленточных перемычек

ся различных значений токов перегрузки и короткого замыкания, как для медленных, так и для быстрых предохранителей.

Зона контакта

В зависимости от типа предохранителя его выводы изготавливаются в виде контактных цилиндрических чашек, залуженных проволочных выводов или контактных площадок. Их задача — обеспечить низкое сопротивление соединения между плавкой вставкой и держателем. При высоких значениях рабочего

тока предохранителя особенно важно хорошее тепловое рассеяние в таких местах. Поэтому выводы обычно изготавливаются из меди и медных сплавов.

Изолирующие материалы

Гарантируя механическую прочность для всех компонентов предохранителя, изолятор должен выполнять и специальную задачу при быстром срабатывании. В таком режиме изолятор должен выдерживать очень высокое давление воздуха, возникающее в момент разрыва плавкой перемычки и, конечно, сопутствующую этому процессу высокую температуру. В зависимости от этих свойств изолятора говорят о низкой или высокой разрывной способности предохранителя. Для повышения этого важнейшего параметра для миниатюрного предохранителя в качестве изолятора используют как стекло, так и керамику с дугогасительным наполнителем.

Дугогасительные наполнители

Предохранители с керамическим изолятором, так же как и некоторые типы предохранителей со стеклянным изолятором, заполняются дугогасительным наполнителем. Это песчаная субстанция со специальными физическими и химическими свойствами, используемая именно в предохранителях. Типовые материалы, применяемые для этих целей: окрашенный песок, песчаные гранулы или керамическая крошка, различные порошки и стеклянные бусинки. Именно от свойств такого наполнителя и будет напрямую зависеть такой важнейший параметр предохранителя, как разрывная способность. Прозрачные предохранители, как правило, не содержат наполнителя и называются «предохранителями нулевого тока», они обладают низкой коммутационной способностью. Предохранители с наполнителем можно назвать «ограничителями тока», так как они имеют высокую разрывную способность.

Держатели предохранителей

Блочный держатель состоит из основания (гильзы) и патрона (с резьбовым или байонетным соединением). Основание неподвижно закреплено на оборудовании и имеет выводы для подключения. Патрон соединяется с основанием и позволяет быстро заменить перегоревший предохранитель. Наряду с такими «закрытыми» держателями используются и так называемые «открытые» держатели, а также клипсы. На рис. 4 показаны некоторые типы держателей для миниатюрных предохранителей.



Рис. 4. Разные виды держателей предохранителей различных конструкций

Предохранитель на электрических схемах

Поскольку, по сути, предохранитель представляет собой некий проволочный резистор, то и на электрических схемах его чаще всего изображают в виде резистора с проходящей через центр линией, соединяющей выводы. При этом часто номинальный ток и номинальное напряжение пишут прямо над предохранителем, а детальную информацию можно найти в спецификации (рис. 5).

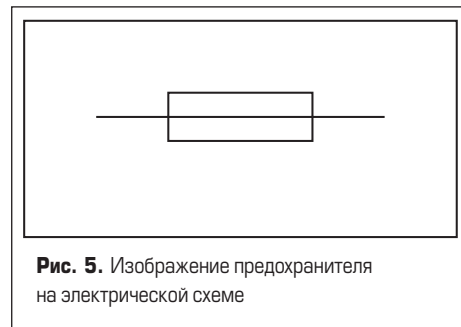


Рис. 5. Изображение предохранителя на электрической схеме

Работа миниатюрных предохранителей при различных токах

В общем виде предохранитель рассчитывается так, чтобы выдерживать токи, не превышающие его номинального значения, и обеспечить разрыв цепи при токах, значения которых превышают номинальный в течение некоторого определенного времени. На практике эти соотношения более сложные. Перегрузки по току и короткие замыкания демонстрируют различную манеру поведения предохранителей при работе под нагрузкой.

Короткое замыкание в цепи всегда есть следствие какой-либо неисправности (пробой изоляции, например), из-за чего соединение показывает низкое сопротивление между проводниками и приложенным напряжением. Неисправности в фазных цепях также могут привести к КЗ вследствие пробоя изоляции между линией и нейтралью.

На рис. 6 показаны различные участки типовой токовой характеристики предохранителя. Участок до точки 1 иллюстрирует работу предохранителя на продолжительных токах, когда перемычке не угрожает плавление. В процессе работы продолжительный ток (1) может достигнуть величины номинального тока предохранителя (2). Зона срабатывания предохранителя начинается от минимального тока плавления перемычки (3) и заканчивается предельно допустимым разрывным током (6).

Работа миниатюрных предохранителей на токах меньше номинального

По сравнению с проводниками электрической цепи предохранитель имеет большее электрическое сопротивление, что вызывает его дополнительный нагрев при работе оборудования. Данный нагрев зависит от уровня нагрузочного тока, его изменения, а также от структуры самого предохранителя.

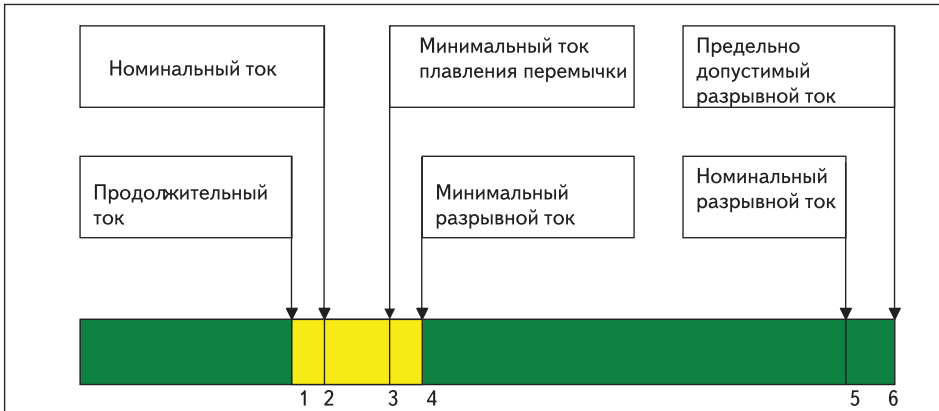


Рис. 6. Типовая токовая характеристика миниатюрного предохранителя: 1 — максимальный продолжительный ток, определяемый условиями эксплуатации; 2 — максимальный продолжительный рабочий ток, оговоренный в стандартах (номинальный ток предохранителя); 3 — минимальный ток плавления перемычки при времени плавления, стремящемся к бесконечности; 4 — минимальный ток, который может быть разорван предохранителем; 5 — максимальный разрывной ток, оговоренный в стандартах; 6 — физически возможный предельный разрывной ток

В нормальных условиях работы, при токе, близком к номинальному, но когда еще нет разрыва перемычки, нагрев и мощность рассеивания предохранителя пропорциональны квадрату протекающего через него тока. Если предохранитель работает на токе в половину от номинального, мощность рассеивания, приведенная в документах на него, значительно уменьшается. То же самое соответствует нагреванию: с низким током нагрузки предохранитель остается значительно более холодным, чем при номинальной нагрузке.

Посредством конструктивных мер в зоне вокруг плавкой вставки тепловое рассеивание может быть улучшено и температура всего предохранителя уменьшена. Если предохранитель помещается внутрь оборудования, это также влияет на интенсивность его нагрева. В этом случае предпочтительней выбирать предохранитель с большим поперечным сечением.

Увеличение температуры происходит и тогда, когда предохранитель помещен в замкнутый объем и/или если рядом расположен еще один или несколько таких же предохранителей. В таких случаях (принимая во внимание увеличение температуры окружающей среды) необходимо говорить о так называемом коэффициенте снижения номинальных параметров ("derating" factor) предохранителя, а значит, должен быть уменьшен его максимальный расчетный продолжительный рабочий ток.

Таким образом, учитывая этот фактор, некоторые предохранители для специальных применений выбираются на ток с коэффициентом 0,8 по отношению к своему расчетному значению. В первую очередь это касается предохранителей для защиты полупроводников и предохранителей, имеющих большие рабочие токи.

Разрывные свойства предохранителей в режиме перегрузки по току

При нормальных условиях работы предохранителя тепло, образующееся вследствие протекания через него рабочего тока, рассеивается в окружающую среду через корпус, а также через контактные площадки и подключенные

к ним провода. Увеличение тока приводит к повышению температуры предохранителя. Когда рабочий ток превысит примерно в 1,5 раза номинальный ток предохранителя, нагрев плавкой вставки будет таким, что перемычка начнет плавиться — за время, зависящее от нагрузки. Затем на месте разрыва перемычки возникает дуга. Расплавленные капли металла оседают на внутренней стенке трубки или, если есть наполнитель, на песчаных гранулах. Процесс разрыва перемычки считается законченным, когда дуга погасла, а приложенное напряжение отключено.

Если место пайки выводов находится на поверхности предохранителя (рис. 2), нижняя граница температуры плавления перемычки заслуживает отдельного рассмотрения. Во время плавления начинается процесс диффузии тепла, таким образом, увеличивается сопротивление выводов. Окончание этого процесса — расплавление перемычки. Время между началом перегрузки по току и окончательным разрывом плавкой перемычки называется полным временем срабатывания (или временем разрыва) $t(a)$, время до момента начала плавления перемычки называется временем предобразования дуги (или временем плавления

перемычки) $t(s)$. Допустимо считать, что в зоне перегрузки время разрыва и время плавления перемычки практически одинаково. В большинстве случаев фаза дуги $t(l)$, то есть время между разрывом перемычки и достижением нулевого значения тока, не превышает 10 мс.

Разрывные свойства предохранителей при коротком замыкании

В режиме короткого замыкания перемычка предохранителя плавится и испаряется в течение нескольких миллисекунд (мс) как результат быстро нарастающего тока. В предохранителе с гасящим наполнителем металлические брызги расплавленной перемычки оседают на песчинках. Электрическая дуга, возникающая при этом, горит до тех пор, пока смесь кварцевого песка и металла не создаст изолирующего промежутка. Такая изолирующая смесь называется фульгурит, или спеченная прессовка. Режим сторания перемычки является одним из аспектов ограничения тока. Задолго до того как полуволна тока достигнет своего максимального значения, плавкая вставка разорвет аварийный ток. Вот почему миниатюрный предохранитель способен прерывать ток, достигающий иногда нескольких тысяч ампер.

Свойство предохранителей разрывать большой ток именуется как «высокая разрывная способность», или "H" (high). Такие предохранители способны защитить входные токи мощного оборудования.

Если же используется предохранитель без дугогасящего наполнителя, то при расплавлении плавкой вставки металлические брызги оседают на внутренней стороне стенки трубки. Через этот металлический конденсат и распространяется дуга до тех пор, пока значение тока не перейдет через ноль и дуга не погаснет. Такие предохранители не работают в режиме ограничения тока; их задача обеспечить отключение тока в случае его примерно 10-кратного превышения номинального значения.

Предохранители без дугогасительного наполнителя имеют «низкую разрывную способность» и обозначаются "L" (low). Такие пре-

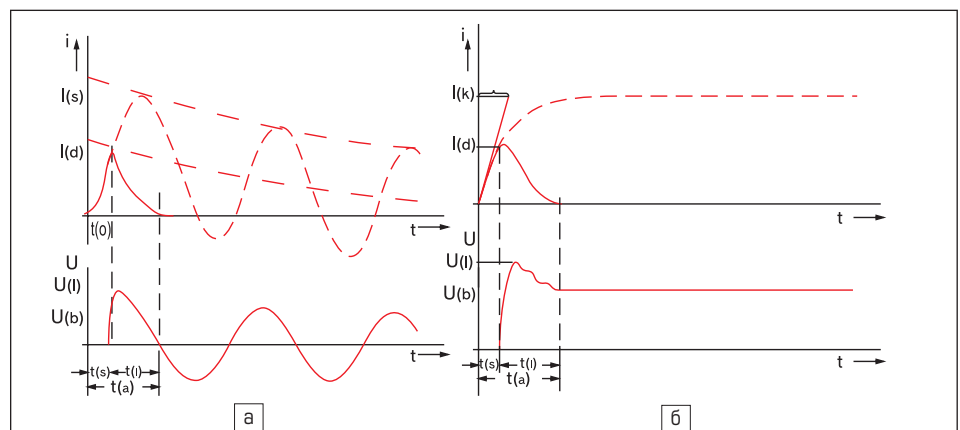


Рис. 7. Эпюры токов и напряжений предохранителей при разрыве тока КЗ в цепях: а) переменного и б) постоянного тока: $t(0)$ — время начала КЗ; $t(s)$ — время расплавления перемычки и начало возникновения дуги; $t(l)$ — время горения дуги; $t(a)$ — полное время срабатывания предохранителя

дохранители используются во вторичных электрических цепях для защиты отдельных компонентов в ситуациях с низким ожидаемым током короткого замыкания.

В отличие от времени плавления перемычки, время горения дуги не может быть проигнорировано при КЗ. Часто время горения дуги даже превосходит время плавления перемычки. Таким образом, полное время срабатывания предохранителя $t(a)$ определяется как сумма времени плавления перемычки $t(s)$ и времени горения дуги $t(l)$.

На рис. 7 показаны временные характеристики токов КЗ для переменного и постоянного напряжения. Напряжение, приложенное к предохранителю за время срабатывания, изменяется синхронно с током.

Время $t(o)$ представляет собой начало возникновения тока КЗ. При отсутствии каких-либо других воздействий максимальное пиковое значение тока может достигнуть величины тока КЗ $I(s)$. Спустя время $t(s)$, однако, предохранитель ограничит значение тока до величины $I(d)$. Далее в процессе работы предохранителя возникает и, под действием кварцевого песка, в течение времени $t(l)$ гаснет электрическая дуга. Таким образом, за время $t(a)$ процесс срабатывания предохранителя завершается.

Эпюры на рис. 7 хорошо иллюстрируют фундаментальное свойство предохранителей — способность ограничивать величину тока КЗ в цепи на уровне, значительно меньшем предельно допустимого.

Продолжение следует

Литература

1. The Fuse Manual. Miniature Fuses. Manual on construction, selection, and types of miniature fuses. SIBA GmbH & Co KG, Germany, 2007.
2. The Fuse Manual. Ultra-rapid Fuses. SIBA GmbH & Co KG, Germany, 2006.
3. www.siba.de
4. IEC 60127-1. Miniature Fuses. Part 1. Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-link.