

Быстродействующие предохранители Siba:

безотказная защита преобразователей

«Сгорел на работе» — это известное высказывание в полной мере относится к плавким предохранителям. Их единственная и крайне важная задача — собственным «сгоранием» защитить от повреждений дорогостоящее и сложное оборудование, обеспечивая разрыв и ограничение быстронарастающих экстратокков в аварийных режимах, в особенности в условиях, когда другие средства защиты уже бессильны. Для решения этой задачи создаются специальные достаточно сложные конструкции, успешная разработка и производство которых невозможно без глубоких научных исследований в области физики твердого тела, материаловедения, термодинамики. Немецкая компания Siba, один из лидеров европейского рынка плавких предохранителей с 50-летним опытом разработки и производства устройств плавкой защиты, предлагает решения, удовлетворяющие современным требованиям к защите электротехнических и электронных устройств в аварийных ситуациях.

Дмитрий Андронников

adv@west-l.ru

В процессе разработки и эксплуатации силовых преобразовательных устройств особое внимание приходится уделять системам защиты полупроводниковых приборов. Их стойкость к перегрузкам и выделяющемуся при этом теплу настолько ниже таковой для других компонентов преобразователей, что типовые системы защиты электрических цепей, например, автоматические выключатели и разъединители не в состоянии обеспечить безопасность полупроводников в аварийных режимах.

При проектировании систем защиты номинальные токи и напряжения в цепях преобразователя совершенно недостаточны для выбора правильной и надежной защиты. В дополнение к ним необходимо принимать во внимание следующие моменты:

- малое время развития процесса аварийной перегрузки;
- малые величины защитного показателя полупроводниковых приборов и модулей на их основе;
- малая допустимая величина перенапряжений при разрыве экстратокков;
- желательность небольшой величины дополнительного тепла, выделяющегося в элементах защиты в номинальных режимах.

В условиях жесткой конкуренции на рынке, кроме технических факторов, приобретают большое значение экономические и эргономические — доля стоимости систем защиты в общей стоимости устройства и удобство проведения регламентных и ремонтных работ.

Быстродействующие предохранители Siba полностью удовлетворяют всем этим условиям и как устройства защиты характеризуются следующими свойствами:

- очень высоким быстродействием и малыми величинами защитного показателя;

- невысокой температурой перегрева корпуса предохранителя в рабочем режиме благодаря применению материалов с большой теплопроводностью, а также специальных конструкций;
- минимальными потерями в рабочих режимах;
- практически полным отсутствием процессов старения, связанных с окислением плавкого элемента, благодаря изготовлению его из серебра высокой степени очистки;
- низким напряжением дуги и коммутационным перенапряжением.

Получение указанных свойств стало возможным благодаря разработке специальных конструкций плавких предохранителей, которые будут рассмотрены ниже.

Обзор конструкции плавких предохранителей

Общая идея конструкции плавких предохранителей одинакова для всех типов приборов, выпускаемых в мире: в корпус из изоляционного материала с выводами для включения в электрическую цепь помещена плавкая перемычка, а свободное пространство внутри корпуса заполнено кварцевым песком. Конструкция типового предохранителя в разрезе (серия NH) приведена на рис. 1.

Основным элементом предохранителя является плавкая перемычка. Сопротивление перемычки, отнесенное к ее длине, больше такового для остальных элементов защищаемой цепи, благодаря чему удельная теплота, выделяемая при протекании тока в цепи, максимальна именно для перемычки и приводит к ее плавлению задолго до начала плавления остальных участков цепи.

Основным фактором, который определяет условия срабатывания предохранителя (плавления пере-

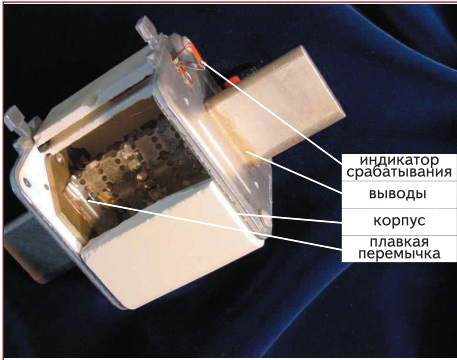


Рис. 1. Конструкция типового предохранителя

мычки), являются ее геометрические размеры и форма — длина, площадь и форма сечения, наличие, форма и плотность перфорации. Выбирая тот или иной набор указанных свойств перемычки, можно получать предохранители с различными характеристиками — от медленных до сверхбыстродействующих. Перемычки круглого сечения без перфорации обычно используют для медленных предохранителей, предназначенных для защиты кабелей и электродвигателей, плоские ленточные перемычки с разнообразной перфорацией позволяют реализовать быстродействующие приборы. Форма и частота перфорации будет определять величину номинального рабочего тока и времятоковую характеристику. Внешний вид перемычек различных типов быстродействующих предохранителей Siba приведен на рис. 2.

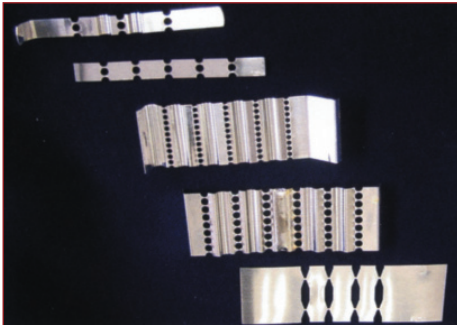


Рис. 2. Различные виды плавких перемычек

Корпус предохранителя как несущий и защитный элемент конструкции должен обеспечивать устойчивость к высоким температурам, возникающим в процессе плавления перемычки при перегрузке, и высокую механическую прочность при разрыве токов короткого замыкания. Обычно в качестве материала корпуса применяется специальная высокопрочная керамика на основе оксида алюминия, устойчивая к воздействию температур в несколько сотен градусов и, реже, армированная стекловолокном пластмасса.

Плавкая перемычка (или несколько таковых) соединяются с выводами предохранителя с помощью сварки. В качестве материалов выводов ввиду высокой электро- и теплопроводности применяется чистая медь с серебряным покрытием или лужением для защиты от коррозии.

Внутреннее пространство корпуса заполняется чистым кварцевым песком с заданным размером зерна. Для увеличения плотности

и равномерности заполнения применяется вибрационная усадка наполнителя с подобранной оптимальной частотой вибрации. Основная задача песчаного наполнения — это передача тепла от перемычки, выделяющегося в процессе работы, и поглощение тепла, выделяемого горячей дугой при плавлении перемычки. В ряде случаев после заполнения песком конструкцию подвергают дополнительной обработке, которая обеспечивает увеличение плотности контакта зерен между собой (так называемый процесс Quasadur) и, соответственно, теплопроводности наполнения, позволяя отводить большее количество тепла от перемычки в предохранителях с большими рабочими токами. Кроме того, большое количество тепла, поглощаемое процессом плавления кварца при горении дуги, существенно уменьшает величину защитного показателя предохранителя, что чрезвычайно важно для защиты полупроводниковых приборов, обладающих самым низким защитным показателем из всех элементов схем преобразователей.

Обзор работы предохранителей на различных токах

В общем виде, основной задачей предохранителя является беспрепятственное пропускание тока в цепи вплоть до значения так называемого номинального тока и разрыв цепи в течение заданного времени при превышении током номинального значения. При более подробном анализе работы можно выделить несколько участков токовой характеристики предохранителей, графически представленных на рис. 3.

Работа предохранителей на токах меньше номинального

По отношению к проводникам и коммутационным элементам электрической цепи, предохранители представляют собой элемент с относительно высоким сопротивлением. Это свойство определяет дополнительный перегрев предохранителей, зависящий от электрической нагрузки и конструктивных особенностей оборудования, в котором они применяются. Использование предохранителя в цепи с током в 50% от номинального тока прибора снижает температуру корпуса и выводов предохранителя более чем на 70%. В ряде случаев, в зависимости от особенностей конструктива, эксплуатация предохранителей с большими

номинальными токами возможна лишь до величин в 80–85% от их номинала.

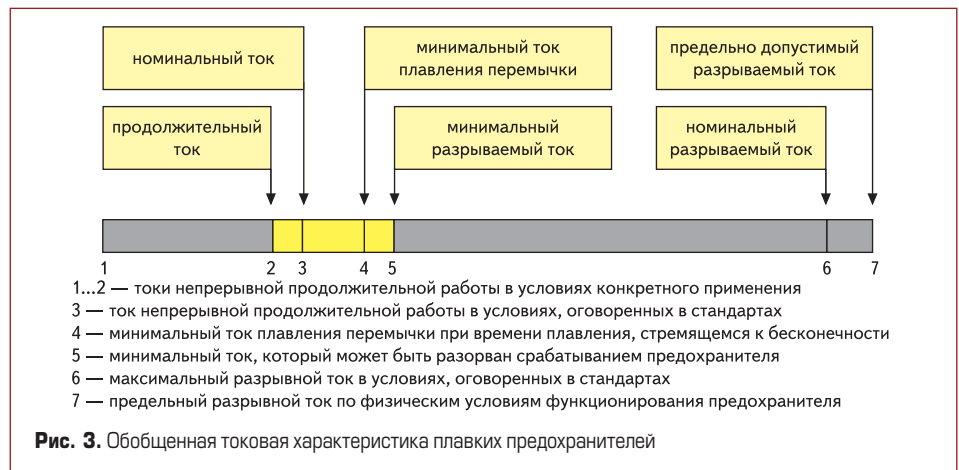
Геометрия перемычки быстродействующих предохранителей и вид ее перфорации в существенной степени определяет степень нагрева прибора. Для предохранителей, рассчитанных на более высокое напряжение, используются перемычки с большим количеством полос перфорации, что увеличивает их сопротивление и повышает температуру перегрева по сравнению с таковой для приборов с тем же номинальным током, но на меньшее напряжение.

Перегрев в заметной степени зависит как от особенностей конструкции контактного устройства держателя предохранителя (пружинные, винтовые, поверхностные контактные устройства), так и от вида и площади сечения токоведущих шин или кабелей. Большой перегрев наблюдается у предохранителей, устанавливаемых в закрытые держатели, либо размещаемых в непосредственной близости друг от друга. В таких случаях, а также в условиях работы при повышенной температуре окружающей среды, необходимо руководствоваться данными по температурным зависимостям токовых характеристик приборов.

Работа предохранителей в условиях токовых перегрузок

Ток, протекающий через предохранитель, вызывает падение напряжения на его плавком элементе и, соответственно, рассеяние мощности в виде тепла, которое, в свою очередь, рассеивается в пространстве или отводится за счет теплопроводности выводов и токоведущих шин.

Увеличение протекающего тока вызывает разогрев перемычки, и уже при токе, более чем на 20% превышающем номинальный, количество выделяемого тепла становится достаточным для ее плавления за время, определяемое величиной тока. При плавлении перемычки под током, в местах плавления загорается электрическая дуга. Температура ее горения достаточна для плавления кварцевого песка в близлежащем объеме наполнителя. Горение дуги продолжается до тех пор, пока сплавленные участки песка не прерывают ее, создавая изолирующие участки достаточной для изоляции напряжения в цепи толщины. В этот момент завершается процесс разрыва цепи, подвергшейся воздействию перегрузочного тока. Таким образом, общее время срабатывания предохранителя складывается из времени плав-



ления перемычки и времени горения дуги. При небольших превышениях токов перегрузки над номинальным током время плавления перемычки составляет от десятков миллисекунд до нескольких секунд, а время горения во много раз меньше, то есть время срабатывания предохранителя определяется практически именно временем плавления.

Работа предохранителей в условиях токов короткого замыкания

При протекании тока короткого замыкания его большое значение и большая скорость нарастания вызывают плавление и испарение перфорированных участков перемычки за очень небольшое время (менее нескольких миллисекунд). В расплавленных участках зажигаются электрические дуги, существующие до тех пор, пока расплавленный песок наполнения не образует достаточного количества изолирующих участков.

Напряжение на предохранителе в процессе горения дуги превышает значение напряжения в установившемся режиме, но благодаря специальной конструкции перемычки это превышение относительно невелико.

На рис. 4 представлена фотография перемычки предохранителя, подвергнутого воздействию тока 100 кА при напряжении в цепи 1500 В. Хорошо различимы сплавившиеся участки наполнителя, образующие изоляционные «мостики» по всей длине перемычки.



Рис. 4. Вид перемычки предохранителя после воздействия тока короткого замыкания 100 кА

В таких условиях пренебрегать временем горения дуги уже не представляется возможным, ибо оно сопоставимо со временем плавления. Поэтому общее время срабатывания будет определяться именно суммой двух времен.

При выборе элементов для защиты полупроводниковых приборов от токов короткого замыкания ключевым параметром является величина защитного показателя, который для предохранителя представляет собой сумму защитного показателя плавления и защитного показателя дугообразования. Эта сумма должна быть меньше, чем заявленная в справочных данных величина защитного показателя используемого полупроводникового прибора.

На рис. 5 приведены эпюры токов и напряжений предохранителя при разрыве тока короткого замыкания в цепях переменного и постоянного тока.

Время t_0 соответствует моменту возникновения короткого замыкания, время t_s — моменту расплавления перемычки и зажиганию дуги. На графиках хорошо видно фундаментальное свойство предохранителей — способность ограничивать величину тока короткого замыкания

в цепи на уровне I_d , значительно меньшем предельно достижимого I_s . Общее время полного разрыва аварийной цепи представляет собой сумму времени плавления t_s и времени горения дуги t_L . Время t_A , в течение которого завершается процесс разрыва цепи, является полным временем срабатывания предохранителя.

Обзор классов быстродействующих предохранителей

Область применения предохранителя и его свойства определяют так называемый класс прибора — условное обозначение основных особенностей данного типа предохранителей. Основное разделение предохранителей происходит по признаку функциональных особенностей областей применения. Категорию «а» составляют быстродействующие предохранители, обеспечивающие защиту только от токов короткого замыкания. Их минимальный ток срабатывания обычно находится в диапазоне от трехкратного до восьмикратного номинального тока, а максимальное время плавления достигает 30 с. Ток перегрузки в диапазоне от номинального тока до минимального тока срабатывания для этих приборов крайне нежелателен ввиду сильного разогрева перемычки и всей конструкции предохранителя. Категорию «g» составляют приборы полной защиты, защищающие как от токов КЗ, так и от токов перегрузки. В нормальных условиях они разрывают любой ток, выходящий за пределы их номинального тока. При работе с большими токами эти предохранители тоже могут сильно нагреваться, что необходимо учитывать при конструировании аппаратуры с применением чувствительных к перегреву полупроводниковых приборов.

Класс aR — предохранители защиты от короткого замыкания

Приборы этого класса служат для защиты полупроводниковых приборов от токов ко-

роткого замыкания. Обычно они включаются непосредственно в цепь силового электрода защищаемого диода, тиристора, транзистора. Для обеспечения высокой надежности защитный показатель предохранителей этого класса стараются по возможности сделать минимальным, не больше весьма малых величин защитных показателей полупроводниковых приборов соответствующего тока.

Токовая диаграмма работы предохранителей класса aR приведена на рис. 6.

Предохранители не срабатывают до токов вплоть до величины их номинального тока в продолжительном режиме и надежно защищают цепь в диапазоне аварийных токов от минимального тока срабатывания до максимального разрывного тока.

Класс gR — предохранители полной защиты

В области небольших значений рабочих токов (примерно до 100 А) хорошую альтернативу приборам класса aR составляет класс gR, который обеспечивает возможность защиты не только от токов КЗ, но и от токов перегрузки. Величина защитного показателя у предохранителей класса gR невелика и сравнима с таковой для класса aR, но при этом температура перегрева предохранителей существенно ниже.

Токовая диаграмма предохранителей gR приведена на рис. 7.

В продолжительном режиме предохранители gR могут работать с непрерывным током практически до величины их номинального тока, а защита цепи осуществляется в диапазоне токов от минимального тока плавления перемычки до максимального разрывного тока.

При конструировании устройств следует принимать во внимание, что близкое расположение большого числа предохранителей существенно увеличивает их перегрев за счет взаимного теплообмена и может привести к тому, что характеристики срабатывания предохранителей будут отличаться от заявленных.

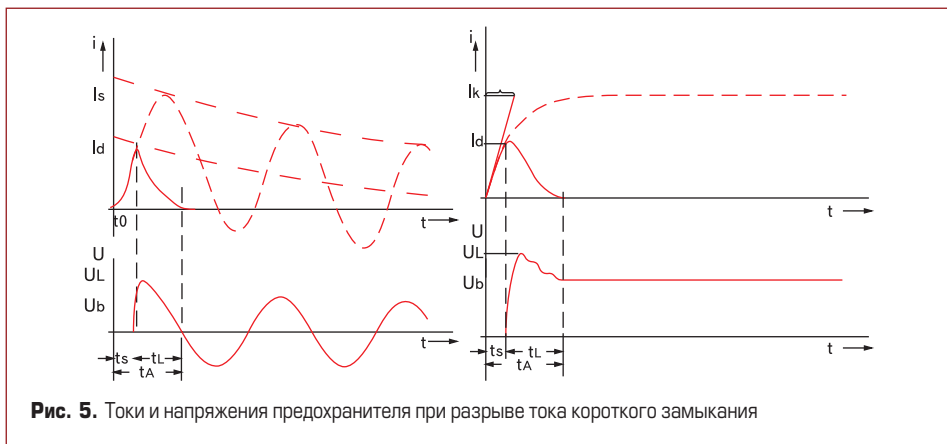


Рис. 5. Токи и напряжения предохранителя при разрыве тока короткого замыкания

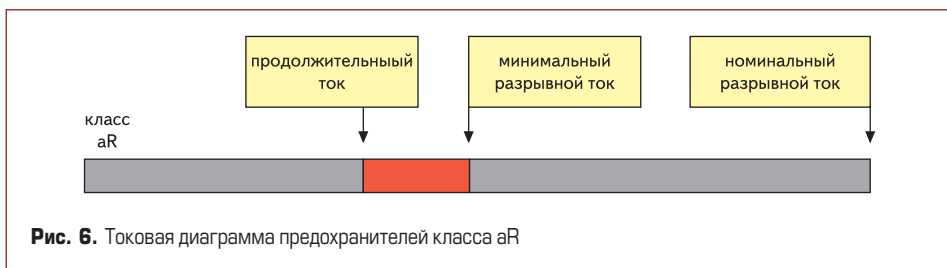


Рис. 6. Токовая диаграмма предохранителей класса aR

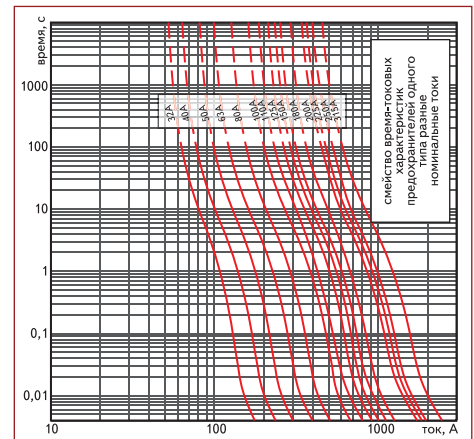
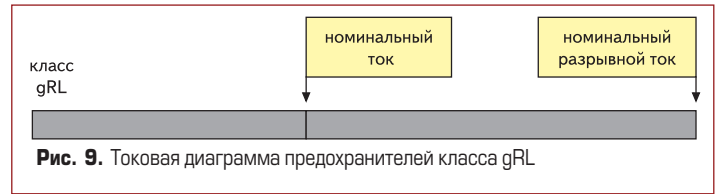
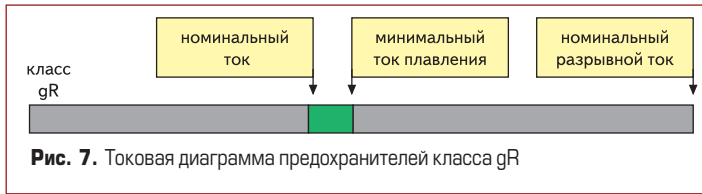


Рис. 8. Времятоковые характеристики предохранителей различных классов

Рис. 10. Времятоковые характеристики предохранителей одного типа с различным номинальным током

В таких случаях при выборе предохранителей следует руководствоваться индивидуальными поправочными коэффициентами их рабочих характеристик, которые обычно приводятся в справочных материалах.

Класс gRL — предохранители универсальной защиты

При разработке различных классов предохранителей было обнаружено, что приборы со значительно отличающимися времятоковыми характеристиками (класс aR «защита полупроводниковых приборов» и класс gG «защита кабелей и токоведущих шин») можно совместить в одной конструкции. В результате были созданы предохранители универсальной защиты класса gRL. На рис. 8 представлены времятоковые характеристики предохранителей различных классов.

Хорошо видно, что в области перегрузочных токов характеристика приборов класса gRL схожа с характеристиками предохранителей кабельной защиты класса gG. В области токов короткого замыкания быстрodeйствующие предохранители gRL существенно выше, чем gG. Подобный вид характеристик определяется специально рассчитанным видом и плотностью перфорации перемычки и обеспечивает возможность работы предохранителей gRL в области рабочих перегрузок и одновременно — надежную защиту от токов КЗ.

Токовая диаграмма предохранителей gRL приведена на рис. 9.

Предохранители универсальной защиты выделяют при работе гораздо меньше тепла, чем

специализированные быстрodeйствующие приборы и, соответственно, имеют меньшие температуры перегрева, что дает возможность успешно применять их в закрытых держателях. Поскольку рабочие токи предохранителей gRL определяются двумя величинами — номинальным током предохранителя как элемента защиты токоведущего устройства и током срабатывания как элемента защиты полупроводникового прибора, то принято в качестве номинального тока предохранителя класса gRL указывать номинальный ток элемента защиты токоведущего устройства.

Компания Siba разработала предохранители универсальной защиты задолго до введения этого класса в национальных и международных стандартах. Официально класс gRL в международных стандартах существует с 2003 года (IEC60269-4).

Основные характеристики быстрodeйствующих предохранителей

Работа предохранителей в различных условиях обычно представляется семействами характеристик для параметров в зависимости от токов, напряжений и температуры.

Времятоковая характеристика

Это основная характеристика предохранителя. Она отражает время, проходящее с момента начала воздействия заданного тока до момента зажигания дуги при плавлении или испарении перемычки. Типичные времятоковые характеристики для предохранителей с различной величиной номинального тока приведены на рис. 10.

Для снятия времятоковых характеристик обычно используют несколько контрольных значений токов, определяемых теоретически или в соответствии с международными стандартами. Температура окружающей среды должна быть близка к 20 °С, охлаждение — естественным конвекционным, испытания производятся на переменном токе частотой 45–62 Гц без предварительной нагрузки предохранителя током. Предохранитель включается в цепь с помощью кабелей длиной 1 м заданного стандартом сечения для каждого значения номинального тока прибора. При большей температуре окружающей среды, меньшем сечении токоподводящих цепей или предварительной нагрузке предохранителя времятоковые характеристики смещаются в сторону меньших времен. Следует иметь в виду, что приводимые в справочных данных времятоковые характеристики являются усредненными для большого числа испытанных приборов; для каждого отдельно взятого предохранителя индивидуальные времятоковые характеристики могут иметь отклонения до 7% в каждую сторону от носительной средней величины.

Особенности поведения быстрodeйствующих предохранителей в области токов перегрузки

Предохранители класса aR рассчитаны на срабатывание лишь от токов КЗ или от очень больших по отношению к номинальному значению токов перегрузки. При работе с продолжительными токами (время плавления — до 30 с), происходит очень сильный разогрев предохранителей, который может вызывать даже тепловое повреждение устройства. Для исключения возможности подобных ситуаций защиты от перегрузочных токов следует выполнять двухступенчатой. Предохранитель защиты от перегрузок, рассчитанный на срабатывание от незначительных превышений номинального тока, должен обладать времятоковой характеристикой, расположенной левее характеристики основного быстрodeйствующего предохранителя в районе опасных величин токов (времена 10–30 с) и спадающей более полого в области малых времен. В ряде случаев на времятоковых характеристиках специально обозначают опасные для продолжительного режима работы области.

Разрывные токовые характеристики

Семейства разрывных характеристик наглядно демонстрируют важнейшее фундаментальное свойство плавких предохранителей — ограничение тока короткого замыкания в цепи. В процессе срабатывания предохранитель является нелинейным элементом, не подчиняющимся закону Ома, поскольку изменяются физические условия протекания тока. Типичные разрывные характеристики предохранителей с различным номинальным током приведены на рис. 11.

Здесь видно, что ожидаемый ток КЗ в 40 кА будет ограничен величиной всего 4 кА при использовании предохранителя на номинальный ток 100 А.

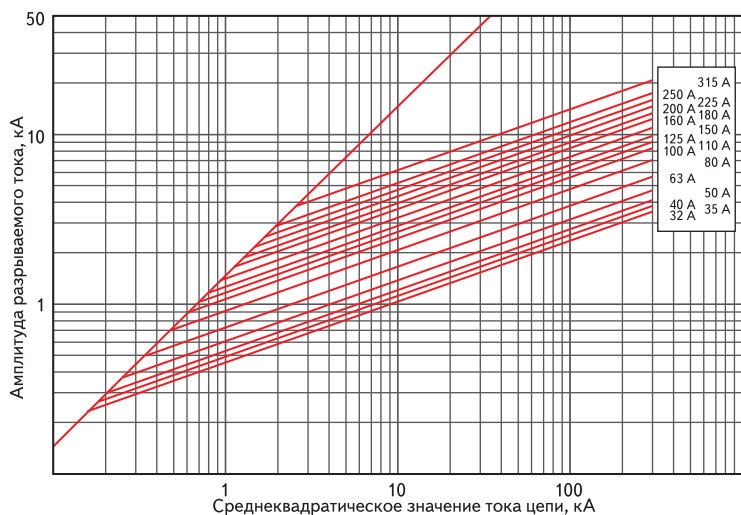


Рис. 11. Разрывные характеристики предохранителей одного типа с различным номинальным током

Защитный показатель

Этот параметр крайне важен при выборе предохранителей для защиты полупроводниковых приборов. В области характеристик предохранителей, соответствующих ограничению экстратоков, время плавления перемычки, предшествующее возникновению дуги, становится малоинформативным параметром, поскольку зависит от множества факторов, таких как величина тока, скорость его нарастания, частота, фазовый угол возникновения экстратока. Поэтому более существенными с практической точки зрения являются интегральные характеристики.

Защитный показатель плавления характеризует величину энергии, затраченной на плавление перемычки предохранителя. Защитный показатель горения дугообразования таким же образом характеризует энергию, затраченную на образование и горение электрической дуги до момента ее гашения плавящимся наполнителем. Сумма защитных показателей плавления и дугообразования есть полный защитный показатель предохранителя.

Величина защитного показателя плавления не зависит от электрических условий работы, поскольку определяется теплофизическими параметрами конкретного типа перемычки и наполнителя. Напротив, защитный показатель дугообразования в существенной мере связан с электрическими параметрами, в частности, с напряжением в цепи. Поэтому при эксплуатации предохранителей в условиях, отличных от типовых условий измерения, приводимых в справочных материалах, величину защитного показателя нужно корректировать. Типовой график поправочного коэффициента для защитного показателя предохранителя с рабочим напряжением 660 В приведен на рис. 12.

Коммутационное перенапряжение

В процессе разрыва цепи на выводах предохранителя возникает напряжение горения дуги, которое в два-три раза может превышать приложенное к предохранителю. Величина коммутационного перенапряжения зависит от величины напряжения в цепи, индуктивности цепи и времени горения дуги. На рис. 13 приведена зависимость коммутационного перенапряже-

ния от рабочего напряжения цепи в заданных временных и конструктивных условиях.

Величину коммутационного перенапряжения необходимо учитывать при выборе полупроводниковых приборов. Их допустимое напряжение в закрытом состоянии после воздействия ударного неповторяющегося тока должно быть выше, чем коммутационное перенапряжение при разрыве цепи элементом плавкой защиты. Справедлив и обратный выбор — коммутационное перенапряжение для конкретного типа предохранителя должно быть ниже, чем допустимое напряжение на защищаемом полупроводниковом приборе.

Рассеиваемая мощность

Этот параметр для номинального тока обычно приводят в справочных материалах на каждый тип предохранителей. В связи с тем, что при работе на токах, близких к номинальному, быстродействующие предохранители сильно разогреваются, обычно их используют в диапазоне токов значительно меньше номинала.

Если при расчете устройства задано ограничение по рассеиваемой внутри конструктива мощности, то для выбора типа и номинала предохранителя, обеспечивающего допустимый уровень рассеяния тепла, следует воспользоваться специальным поправочным коэффициентом мощности рассеяния, определяемым по графику (рис. 14).

По оси абсцисс отложены отношения рабочего тока цепи к номинальному току предохранителя, по оси ординат — поправочный коэффициент. Реальная мощность рассеяния предохранителя получается умножением поправочного коэффициента на мощность, указанную в справочных материалах.

Влияние температуры окружающей среды

Согласно международному стандарту IEC 60269-1 номинальный ток предохранителя определяется при температуре окружающей среды 30 °С. Однако в реальных условиях эксплуатации температура может быть как выше, так и ниже. Повышение температуры среды вызывает снижение номинального рабочего тока ввиду того, что для плавления перемычки

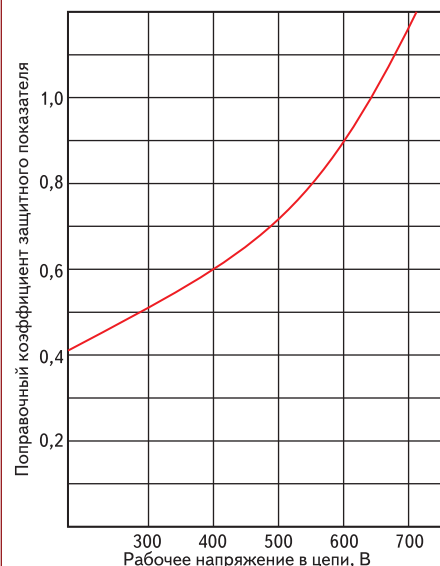


Рис. 12. Поправочный коэффициент защитного показателя для предохранителя с рабочим напряжением 690 В

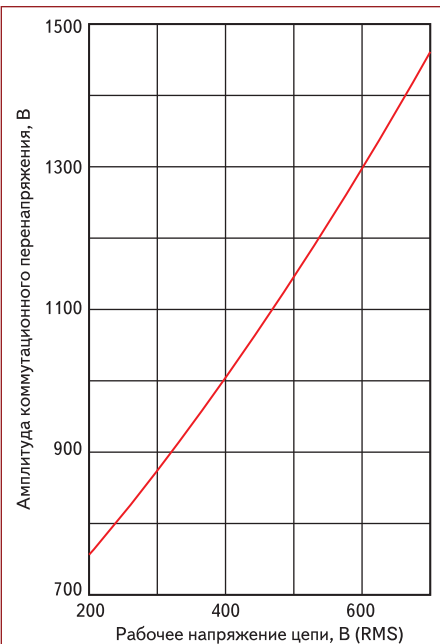


Рис. 13. Зависимость величины коммутационного перенапряжения от рабочего напряжения в цепи

потребуется выделение несколько меньшего количества тепла, и наоборот, понижение температуры окружающей среды увеличивает номинальный ток предохранителя. График зависимости относительного номинального тока от температуры окружающей среды для типичного быстродействующего предохранителя приведен на рис. 15.

Распределение уровней плавкой защиты

При организации комбинированной защиты устройства с помощью предохранителей необходимо с особым вниманием подходить к выбору характеристик защитных приборов каждого уровня. Наибольшее распространение получила двухуровневая защита, кото-

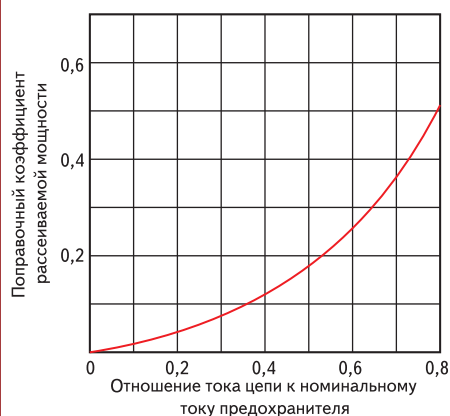


Рис. 14. Поправочный коэффициент для мощности рассеяния предохранителя

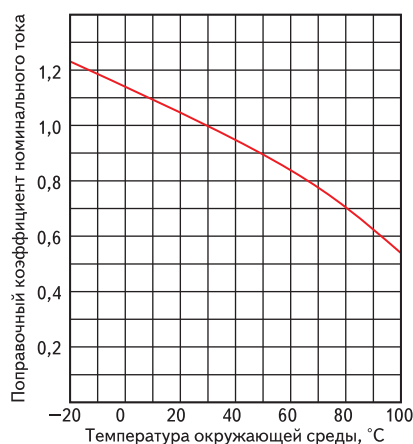


Рис. 15. Зависимость относительного номинального тока предохранителя от температуры окружающей среды

ру для преобразователей создают последовательно включенные быстродействующие предохранители в цепях полупроводниковых приборов (защита нижнего уровня) и медленные для защиты токоведущих конструкций (защита верхнего уровня). При такой структуре защиты в аварийной ситуации в преобразователе первоначально должны срабатывать только предохранители защиты полупроводников. Предохранители защиты токоведущих кабелей и шин срабатывают в последнюю очередь, если неисправность выходит за пределы области применения полупроводниковых приборов. Правильная работа подобной структуры возможна только при учете и выполнении следующих требований:

- 1) Номинальный ток предохранителя верхнего уровня должен быть больше, чем предохранителя нижнего уровня.
- 2) Времятоковые характеристики предохранителей верхнего и нижнего уровней должны проходить на значительном расстоянии друг от друга. Обычно считается достаточным, если характеристики отстают друг от друга на 20% по оси токов.
- 3) Защитный показатель плавления предохранителя верхнего уровня должен быть больше полного защитного показателя предохранителя нижнего уровня.

Последовательное и параллельное соединение предохранителей

В ряде случаев величины номинальных токов и рабочих напряжений, доступных к использованию предохранителей, оказываются недостаточными. В таких ситуациях применяют параллельное и последовательное включение приборов плавкой защиты.

Последовательное соединение

Если напряжение в цепи превышает максимальное рабочее напряжение доступных типов предохранителей, применяется их последовательное соединение, как показано на рис. 16а. Для того чтобы исключить срабатывание только одного предохранителя при коротком замыкании, оба прибора должны обладать близкими характеристиками, то есть быть одного типа, на одинаковый ток, на одинаковое рабочее напряжение, от одного производителя и находиться при одинаковой температуре. Следует помнить, что последовательно включенные предохранители не обеспечивают защиту от токов перегрузки ввиду несогласованности поведения перемычек.

Параллельное соединение

На практике часто встречаются случаи необходимости построения токовой защиты для очень больших номинальных токов, в частности, на электростанциях, распределительных и тяговых подстанциях, гальванических производствах. Для таких случаев применяют параллельное соединение предохранителей на меньший номинальный ток, чем номинальный ток защищаемой цепи (рис. 16б). В этом случае необходимо особое внимание уделять равномерному распределению тока по параллельным ветвям:

- 1) Импедансы токоведущих линий к каждому из параллельных предохранителей должны быть одинаковыми (симметричная конструкция).
- 2) Характеристики предохранителей должны быть максимально близкими, — одного типа, от одного производителя, на одинаковый номинальный ток, в одинаковых держателях.
- 3) Предохранители должны быть из одной производственной партии.
- 4) Расстояние между корпусами предохранителей не должно превышать 10–15 мм.
- 5) Для каждого из предохранителей параллельного набора номинальный ток принимается равным 0,9 от заявленного в справочных материалах.
- 6) Минимальный ток срабатывания обычно составляет 6–8 величин суммарного номинального тока набора.
Защитный показатель параллельного набора из N предохранителей может быть рассчитан по формуле:

$$Pt_{\text{общ}} = N^2 \times Ft1. \quad (1)$$

В частности, при параллельном включении двух однотипных предохранителей защитный показатель возрастает в 4 раза, номинальный ток — немного меньше, чем в 2 раза, а время-

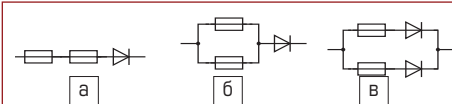


Рис. 16. Различные виды включения предохранителей в цепь полупроводниковых приборов

токовые характеристики могут быть построены путем удвоения всех величин тока.

Для многих предохранителей в прямоугольных корпусах изготавливаются специальные держатели для включения приборов в параллель. Такое включение обладает одним важным преимуществом — благодаря более выгодным температурным режимам защитный показатель сборки из двух параллельных предохранителей во многих случаях получается ниже, чем у одного предохранителя на удвоенный номинальный ток. Это свойство параллельного включения можно использовать в случаях защиты полупроводниковых приборов с низким защитным показателем.

Защита параллельно включенных полупроводниковых приборов

При параллельном включении полупроводниковых приборов также требуется равномерное токораспределение по ветвям. В этом случае в каждую ветвь ставится индивидуальный предохранитель, который в некоторой мере играет роль уравнивающего резистора (рис. 16в). В ряде ситуаций, при использовании управляемых приборов, предохранители можно использовать и в качестве датчиков тока цепи, что упрощает и в некоторой степени удешевляет конструкцию преобразователя. В этом случае желателен подбор предохранителей по величине сопротивления. Защитный показатель каждого из предохранителей в параллельных ветвях должен соответствовать защитному показателю соответствующего полупроводникового прибора.

Продолжение следует

Литература

1. www.siba.de
2. IEC 60 269 — 1 Low voltage fuses — Part 1. General requirements.
3. IEC 60 269 — 4 Low voltage fuses — Part 4.1. Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices.
4. IEC 60 269 — 4-1 Low voltage fuses — Part 4-1. Examples of types of standardized fuse-links.
5. IEC 60 077 — 5 Railway applications — Electric equipment for rolling stock — Part 5 Electrotechnical components — Rules for HV fuses.
6. IEC 60 127 — 1 Miniature fuses — Part 1. Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links.
7. IEC/TR2 60 146 — 6 Semiconductor converters — Part 6. Application guide for the protection of semiconductor converters against overcurrent by fuses.
8. The Fuse Manual. Ultra-rapid Fuses. Siba GmbH & Co. KG. 2006.
9. Чебовский О. Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1985.