

# ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**НАБИЛ САДЕК (NABIL SADIQ)**, ст. инженер по применению  
**ТРИНА НУР (TRINA NOOR)**, инженер по применению, Cooper Bussmann

*Предохранители защищают цепи от перегрузок по току, которые приводят к расплавлению защитного элемента и размыканию цепи. В статье рассматриваются основные характеристики предохранителей, критерии их выбора для различных приложений и те «подводные камни», о которых должен знать каждый разработчик.*

Предохранители служат двум основным целям.

1. Защита компонентов, оборудования и людей от риска возникновения пожара и электрического удара.

2. Изоляция подсистем от основной системы.

Существуют два типа перегрузки по току: 1) избыточная нагрузка, при которой протекающий по цепи ток превышает ее пропускную способность; 2) короткое замыкание, или выброс тока.

Независимо от типа перегрузки характеристики предохранителей рассчитываются таким образом, чтобы эти коммутационные устройства были самым слабым звеном цепи.

## ТИПЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Быстродействующие предохранители срабатывают, как только превышает их номинальный ток. Такая скорость необходима при эксплуатации чувствительной электронной техники и многих преобразователей. Эти предохранители, как правило, применяются в активных нагрузках с малыми уровнями пускового тока.

Предохранители с задержкой времени срабатывают только в случае токовых перегрузок, длящихся ограниченное время, и, как правило, предназначены для защиты индуктивных и емкостных нагрузок от большого пускового тока при подаче питания. Задержка позволяет предотвратить предохранитель от бесполезного срабатывания. Этот тип устройств выдерживает большие броски тока, чем быстродействующие предохранители, и с успехом применяются для защиты входа DC/DC-преобразователей, т.к. в большинстве преобразователей имеется входная емкость, через которую протекает ток высокой амплитуды при начальной зарядке.

Если внутренняя цепь преобразователя не выдерживает условий перегрузки, предохранитель препятствует возникновению огня или других разрушительных последствий. Большинство DC/DC-преобразователей защищено от

короткого замыкания на выходах или с помощью токоограничительной цепи, или схемы защиты от тепловой перегрузки.

При выборе входного предохранителя для DC/DC-преобразователя следует знать и учитывать следующие параметры.

1. Номинальное напряжение.
2. Номинальный ток.
3. Ток разрыва.
4. Температурный уход параметров.
5. Интеграл плавления ( $I^2t$ ).
6. Максимальный ток повреждения цепи.
7. Соответствие стандартам.
8. Механические параметры.

## НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Предохранители нормируются по постоянному или переменному напряжению, при котором они могут безопасно использоваться. Предохранитель, установленный в цепь переменного тока (AC), характеризуется иначе, чем в цепи постоянного тока (DC). В цепи AC амплитуда напряжения 50–60 раз в секунду проходит через нулевой потенциал, что препятствует возникновению дуги, образующейся при расплавлении плавкого элемента и образовании зазора. В цепях постоянного тока появление дуги исключить сложнее.

Как правило, номинальное напряжение предохранителя переменного тока совпадает с напряжением сети — 110, 220, 415 В и т.д. Это значит, что предохранитель можно использовать при указанных напряжениях и он прошел испытания при значениях, по крайней мере, на 15% выше номинального. Если указано номинальное постоянное напряжение, то оно является максимальным и не должно быть превышено при эксплуатации. Другими словами, номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или выше напряжения, максимально допустимого в системе.

Предохранители нечувствительны к изменению напряжения в диапазоне номинальных значений, поэтому выбор

номинального напряжения жестко связан с вопросом безопасности системы. Предохранители могут работать при любом напряжении ниже или равном номинальному значению.

## НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК

Хотя у некоторых источников питания выходной ток регулируется, DC/DC-преобразователи выдают постоянную мощность. Это значит, что при падении входного напряжения входной ток увеличивается таким образом, чтобы произведение  $P = VI$  осталось постоянным.

Минимальный номинальный ток предохранителя определяется максимальным входным током DC/DC-преобразователя. Как правило, максимальное потребление тока происходит при максимальной выходной нагрузке и минимальном входном напряжении. Максимальная величина входного тока определяется из выражения

$$I_{\text{INPUT(MAX)}} = \frac{P_{\text{OUT(MAX)}}}{V_{\text{IN(MIN)}} \cdot \text{КПД}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{OUT(MAX)}}$  — максимальная выходная мощность DC/DC-преобразователя;  $V_{\text{IN(MIN)}}$  — минимальное входное напряжение DC/DC-преобразователя; КПД — эффективность DC/DC-преобразователя при  $P_{\text{OUT(MAX)}}$  и  $V_{\text{IN(MIN)}}$  (указана в спецификации).

Чтобы предотвратить разрушение компонентов преобразователя, номинальный ток предохранителя выбирается с большим запасом так, чтобы предохранитель срабатывал не в установившемся режиме, а при перегрузке или коротком замыкании. Как правило, из этих соображений выбирается предохранитель, который выдерживает ток, превышающий максимальный входной ток в установившемся режиме на 150–200%, при максимальной нагрузке и минимальном входном напряжении сети.

## ТОК РАЗРЫВА

Номинальное значение тока плавления предохранителя определяется

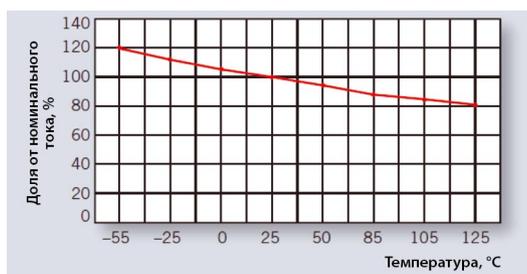


Рис. 1. Типичная кривая температурного ухода параметров

максимальным током при номинальном напряжении, когда это устройство надежно срабатывает. Эта величина должна превышать максимальный ток короткого замыкания цепи. Номинальные значения тока плавления для переменного и постоянного токов различаются, и перед выбором предохранителя рекомендуется посмотреть его техническое описание.

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ УХОД ПАРАМЕТРОВ

Если предохранитель используется при окружающей температуре, которая превышает стандартное значение 23°C, номинальный ток этого коммутационного устройства следует повысить. И, наоборот, при окружающей температуре ниже 23°C используются предохранители с меньшим значением номинального тока. На рисунке 1 показана типичная кривая ухудшения параметров предохранителя. Номинальный ток предохранителя определяется из выражения

$$I_{\text{RATED}} = \frac{I_{\text{INPUT(MAX)}}}{K_{\text{TEMP}}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{INPUT(MAX)}}$  — ток, определяемый уравнением (1), или DC/DC-преобразователя;  $K_{\text{TEMP}}$  — температурный уход параметров, определяемый из рисунка 1.

Наименьшее подходящее номинальное значение тока рассчитывается путем округления полученной величины до ближайшего более высокого значения тока, указанного в спецификации.

Таблица 1. Коэффициент импульса тока для твердотельных предохранителей

| Кол-во бросков тока | Коэффициент импульса |
|---------------------|----------------------|
| 1–100000            | 1,25                 |

Таблица 2. Коэффициент импульса тока для проволочных предохранителей

| Кол-во бросков тока | Коэффициент импульса |
|---------------------|----------------------|
| 100                 | 2,1                  |
| 1000                | 2,6                  |
| 10000               | 3,4                  |
| 100000              | 4,5                  |

### ИНТЕГРАЛ ПЛАВЛЕНИЯ

Максимальный пусковой ток DC/DC-преобразователя, как правило, значительно выше тока в установившемся режиме. Кроме того, периодические броски тока могут оказаться достаточно большими, чтобы разогреть вставку предохранителя. И, хотя она не расплавляется, эти токи вызывают тепловое воздействие на элемент. Периодические расширения и сжатия плавкого элемента могут привести к возникновению механической усталости и преждевременному отказу.

При выборе предохранителя необходимо учитывать суммарную величину расплавления. Эта величина  $I^2t$  представляет собой тепловую энергию, необходимую для расплавления конкретной вставки. Значение  $I^2t$  определяется конструкцией этого элемента, его материалом и площадью поперечного сечения.

Задача разработчика в том, чтобы выбрать предохранитель с таким минимальным значением  $I^2t$ , которое превышает энергию импульса пускового тока. В этом случае предохранитель не сработает в условиях переходного процесса. Для надежной работы системы с требуемым числом циклов включения требуется выполнить следующее условие:

$$I^2t_{(\text{Fuse})} = I^2t_{(\text{Pulse})} \cdot F_p \quad (3)$$

где  $I^2t_{(\text{Fuse})}$  — суммарное значение энергии расплавления предохранителя;  $I^2t_{(\text{Pulse})}$  — энергия импульса тока;  $F_p$  — коэффициент импульса (зависящий от конструкции плавкого элемента, см. табл. 1, 2).

Величина  $I^2t_{(\text{Fuse})}$  указывается в технической спецификации предохранителя.

Рекомендуется использовать минимальное или номинальное, а не максимальное значение интеграла плавления из уравнения (3).

### МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК ПОВРЕЖДЕНИЯ ЦЕПИ

При выборе предохранителя следует также обратить внимание на пусковые токи и нестационарные условия нагрузки. При подаче питания на DC/DC-преобразователь конденсаторы на его входе должны быть заряжены.

Время зарядки конденсаторов от тока  $I = V/R$ , поступающего на входы преобразователя с типового источника питания, составляет менее 10 мс. При этом входное напряжение  $V$  скачкообразно изменяется, а  $R$  определяется сопротивлением разводки, сопротивлением источника тока при включении и эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR) входных конденсаторов преобразователя.

В DC/DC-преобразователях крупного размера часто используется большой конденсатор с очень низким значением ESR. Пусковой ток в этих случаях оказывает существенное воздействие на работу предохранителя. Выбор правильного размера этого устройства позволит пусковым токам проходить через него, не вызывая оплавления и не разрушая плавкий элемент в процессе эксплуатации.

При расчете энергии токового импульса следует, в первую очередь, определить его величину и продолжительность. Наиболее правильным способом определения параметров импульса является измерение этого тока в приложении при минимальном и максимальном напряжениях.

Следует заметить, что значения интеграла плавления  $I^2t$  необходимо рассчитывать при максимальных значениях тока и времени импульса. Например, если ток в установившемся режиме максимален на стороне низкого напряжения, к значению этого тока следует прибавить наброс нестационарной нагрузки, чтобы установить пиковую величину тока в условиях функционирования преобразователя. Однако пусковой ток, как правило, максимален при максимальном входном напряжении. Интеграл плавления  $I^2t$  необходимо оценивать по максимальному значению, чтобы предохранитель не перегорел при «нормальных» рабочих условиях.

Коэффициент импульса зависит от конструкции плавкого элемента (см. табл. 1, 2).

Запатентованная твердотельная конструкция, используемая в серии предохранителей R 0603FA, 3216FF, CC12H и CC06 компании Cooper Bussmann, обеспечивает периодическую работу и хорошие температурные характеристики этих устройств, позволяя существенно снизить ложные срабатывания. Кроме того, эти предохранители небольшого размера защищают от непредвиденных бросков тока со стороны системы, а жесткая конструкция позволяет уменьшить перегрев предохранителей от повторных бросков, которые могут вызвать срабатывание устройств при небольших токах.

Проволочная конструкция у предохранителей 3216TD и новой серии

S505H, а также многих традиционных трубчатых предохранителей обеспечивает защиту от высоких пусковых токов. Проволочная технология позволяет создавать небольшие предохранители, не жертвуя показателем  $I^2t$ , диапазонами рабочей температуры или напряжения. Использование предохранителей с надежной возможностью защиты от всплесков пускового тока означает меньшую частоту срабатывания этих устройств.

### СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ

Требования североамериканского стандарта UL/CSA, а также европейских стандартов IEC для устройств, предохраняющих от перегрузки по току, существенно разные в отношении кривых зависимости тока от времени. Предохранители стандарта UL должны срабатывать при токе, равном 135% от номинального значения, тогда как в соответствии с IEC это значение выше — 150%.

Требования UL и IEC к физическим размерам и используемым материалам предохранителей одинаковы. Однако предохранители, изготовленные по разным стандартам, взаимно不可替代емы. Время оплавления их элементов и срабатывания отличаются при воздействии тока одной амплитуды.

При выборе предохранителя, который удовлетворяет требованиям системы и стандарту, необходимо учесть следующее.

- Номинальный ток предохранителя не должен превышать значения, используемого при безопасном тестировании DC/DC-преобразователя, защиту которого требуется обеспечить.

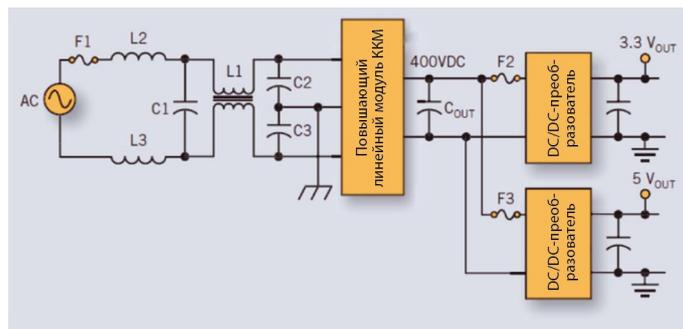
- Предохранитель устанавливается на незаземленную сторону схемы, чтобы обеспечить бесперебойное заземление в случае срабатывания предохранителя.

- Входные проводники цепи и заземления шасси могут проводить ток, который в 1,5 раза превышает номинальный ток предохранителя.

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

В электронных схемах применяется большое количество предохранителей разных физических размеров. Самая распространенная конструкция — цилиндрическая размерами 5×15 мм, 5×20 мм и 6,3×32 мм. Цилиндрические предохранители устанавливаются в пружинные держатели с аксиальными выводами для пайки на плату. Сверхминиатюрные предохранители используются в том случае, если пространство на плате ограничено. В таких случаях выполняется монтаж этих устройств в сквозные отверстия платы или поверхностный монтаж.

Рис. 2. Размещение предохранителей в схеме типового DC/DC-преобразователя



Стандартными размерами корпуса для предохранителей под поверхностный монтаж являются 0402 (1005), 0603 (1608), 1206 (3216), 6125 и 1025.

### ТИПОВОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ

Правила техники безопасности требуют использования предохранителей для защиты источников питания переменного тока и защиты против любого катастрофического отказа конденсаторов во входном фильтре, модуля с ККМ, выходных конденсаторов или DC/DC-преобразователей, где размещение предохранителя F1 (см. рис. 2) является стандартным. Он устанавливается рядом со входом таким образом, чтобы все остальные компоненты находились дальше по цепи и были защищены.

Повышающий модуль с ККМ, как правило, не имеет защиты от перегрузки по току. Если на выходе этого блока происходит короткое замыкание, в нем не срабатывает устройство по отключению питания. Таким образом, предохранитель F1 во входной цепи переменного тока защищает этот модуль.

Несмотря на защиту предохранителя в первичной цепи, расположенные далее по схеме предохранители постоянного тока F2 и F3 (см. рис. 2) ограничивают мощность, поступающую от накопительных конденсаторов, и предотвращают катастрофический отказ DC/DC-преобразователей. При отказе одного из преобразователей другой продолжает работу.

Предохранители F2 и F3 обеспечивают дополнительные преимущества при разработке схемы на рисунке 2. Так, у каждого из преобразователей имеется отдельное питание, а модуль с ККМ может работать на внешнюю нагрузку. Помимо того, что предохранители облегчают тестирование различных силовых участков схемы при разработке устройства, они помогают выполнять поиск и устранение неисправностей в производстве и в ремонте.

Предохранитель F1 на рисунке 2 обеспечивает защиту в первичной цепи

трансформатора от перегрузки по току. В этом случае рекомендуется использовать предохранители, нормированные по сетевому напряжению, которое, как правило, составляет 125/250 В AC. В качестве F1 можно использовать следующие компоненты:

- SR-5/SS-5 с радиальными выводами;
- быстродействующий предохранитель S501-2-R;
- керамические трубчатые предохранители C310T с аксиальными выводами (см. рис. 3), размерами 3,6×10 мм и с задержкой времени.

Предохранители F2 и F3, которые обеспечивают защиту во вторичной цепи трансформатора, должны быть нормированы по напряжению 400 В DC или выше. В качестве F2 и F3 можно использовать следующие компоненты:

- PC-Tron (до 2,5 А) (см. рис. 4);
- серия S505H: 400 В DC/500–600 В AC, с задержкой времени и размерами 5×20 (см. рис. 5).



Рис. 3. Серия компактных предохранителей C310T

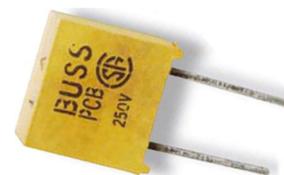


Рис. 4. Предохранители PC-Tron на 2,5 А



Рис. 5. Серия предохранителей S505H с задержкой времени