

Предохранители Wickmann: стандарты, параметры, выбор

Компания Wickmann является крупным мировым производителем пассивных элементов для защиты электронных устройств. Основным производственным направлением изначально и до настоящего времени является производство предохранителей, главным назначением которых является защита от избыточного тока при возникновении аварийных ситуаций в системе. Однако предохранители устанавливаются не только в цепи питания, но и в непосредственной близости от защищаемых микросхем, узлов, а также на разъемы и выводы различных интерфейсов, что требует учета большого числа параметров при выборе предохранителя для обеспечения требований безопасности и надежности системы. В статье рассмотрены параметры и особенности выбора предохранителей, выпускаемых компанией Wickmann, а также типы держателей для них.

Павел Хребтов

pavel@efo.ru

Вопрос выбора предохранителя соответствующего типа и номинала далеко не так тривиален, как это может показаться с первого взгляда, и очень важен для правильной организации защиты устройства с целью повышения безопасности и надежности системы в целом. Рассмотрим параметры, на которые следует обратить внимание, и особенности их выбора.

V_{rated} Номинальным напряжением (V_{rated}) предохранителя называется максимальное напряжение, при котором предохранитель будет функционировать в соответствии с определенными для него характеристиками. Зачастую номинальное напряжение является определяющим при выборе типа предохранителя, и его значение должно быть не меньше, чем рабочее напряжение питания устройства. По возможности значение параметра указывается на корпусе предохранителя.

I_{rated} Номинальный ток (I_{rated}), определяющий нагрузочную способность предохранителя, зависит от стандарта, по которому выполнена данная серия. Это основной параметр, значение которого указывается на корпусе и должно быть больше или равно величине рабочего тока.

I_{BC} Для безопасного прерывания цепи при протекании аварийного тока с гарантированным отсутствием вспышки, взрыва или возникновения пламени введен следующий параметр — разрывной ток (I_{BC}), значение которого должно быть больше максимально возможной величины тока через плавкий предохранитель (тока короткого замыкания). Значение параметра зависит от конструкции предохранителя, рабочего напряжения и различно для постоянного и переменного тока.

V_{drop}

Как и любой проводник, плавкий элемент предохранителя — тонкая проволока или вытравленная пленка — оказывает некоторое сопротивление электрическому току, которое зависит от конструкции предохранителя и характеризуется параметром *максимальное падение напряжения* (V_{drop}) при номинальном токе (иногда можно встретить трактовку «горячее сопротивление»). В большинстве случаев это напряжение можно не учитывать, как пренебрежимо малое по сравнению с рабочим. Однако особое внимание к этому параметру должно уделяться при проектировании устройств с малым значением потребляемого тока (50 мА, 63 мА).

I^2t_{melt}

Тепловая энергия, необходимая для разрушения плавкого элемента, называется *интеграл плавки* (I^2t_{melt}) и представляется как произведение $I^2 \times t$ (ампер в квадрате на секунду). Значение параметра определяется используемыми материалами. Лабораторные тесты, проводимые с отдельными предохранителями, позволяют определить номинальное значение интеграла плавки. Во время этих тестов аварийный ток (обычно в 10 раз превышающий номинальное значение) прикладывается на время, достаточное для плавки элемента. При этом используются следующие допущения: (1) нет рассеивания тепла с поверхности элемента на окружающие материалы; (2) контакты и выводы предохранителя не проводят тепло наружу. Учитывая допущения, можно говорить об адиабатическом процессе нагрева, при котором вся выделяемая тепловая энергия идет на плавку. После завершения теста интеграл плавки предохранителя вычисляется путем перемножения времени плавки и квадрата аварийного тока. Это значение не зависит от температуры и отклонений напряжения.

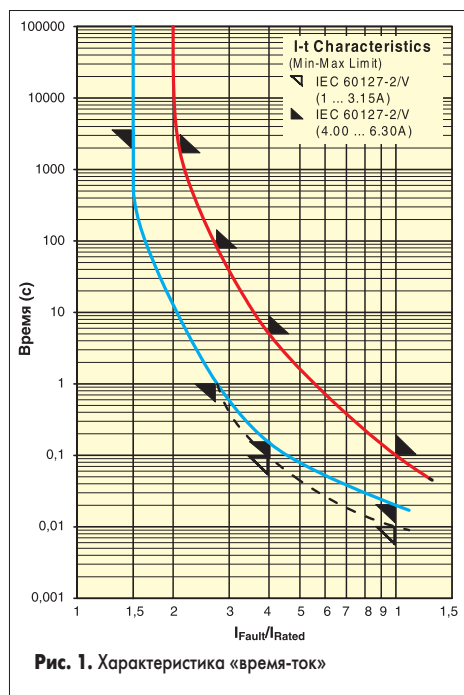


Рис. 1. Характеристика «время-ток»

Кривая характеристики «время-ток» (рис. 1) для каждой серии — графическое представление времени плавки как функции аварийного тока. Время перед разрывом определяется как период времени от момента достижения током величины, достаточной для разрыва потока в плавком элементе, до момента непосредственного разрыва. Предварядное время включает время нагрева и фактического горения элемента.

Кривая характеристики «время-ток» показывает соотношение между временем до разрыва и значением аварийного тока (I_{Fault}). Время выражается в секундах и откладывается на оси ординат в логарифмическом масштабе. Уровень, то есть отношение аварийного тока к номинальному, выражается безразмерной величиной и откладывается по оси абсцисс также в логарифмическом масштабе. Кривые утечки (см. рис. 1) указываются как огибающие для всех перечисленных номинальных токов. Область между двумя кривыми определяет возможные соотношения «время-ток» для всех предохранителей одной серии. Верхняя кривая изображает максимальное время утечки, нижняя — минимальное время. Данные кривые определяются стандартом и могут быть получены для каждого номинала. Характеристика «время-ток» дает возможность наиболее точно выбрать тип предохранителя и номинальный ток для любого приложения.

Рассеиваемая мощность (P_V) определяет максимальную тепловую мощность, выделяемую предохранителем. Этот параметр измеряется при токе, превышающем номинальный в полтора раза, и очень важен при выборе держателя для предохранителя.

Стандарты предохранителей

Для успешного выхода на рынок разработанное устройство должно соответствовать стандартам безопасности, определяющим набор критериев, которые будут гарантировать безопасную работу прибора и защиту

пользователей. Большинство стандартов на оборудование подразумевает, что используемые компоненты также протестированы и соответствуют своим собственным стандартам. Тестирование и проверка соответствия компонента и требований, предъявляемых стандартом, проводится независимыми агентствами. Одобрение элемента агентством означает соответствие его стандарту.

Рассмотрим две основные группы стандартов и соответствующих агентств.

Международный стандарт IEC-60127 (International Electrotechnical Commission) поддерживается следующими агентствами:


 SEMKO Svenska Elektriska Materielkontrollanstalten (Швеция)

 VDE Verband Deutscher Elektrotechniker (Германия)

 BSI British Standards Institution (Великобритания)

и другие.

Стандарты США и Канады UL248-14/CSA C22.2

 UL Underwriters Laboratories (США)

 CSA Canadian Standards Association (Канада)

Сравнение IEC и UL/CSA

Стандарты IEC и UL существенно отличаются в требованиях к предохранителям. Обладая большим сходством в описании физических размеров и материалов, используемых при изготовлении, они противоречат в определении зависимости времени перед разрывом плавкого элемента от тока. Именно различие в этом параметре делает невозможным проектирование предохранителя, полностью удовлетворяющего требованиям обоих стандартов. Понимание этих различий необходимо для правильного выбора предохранителя, используемого в разрабатываемом устройстве. Попыткой объединить IEC и UL является новый стандарт UMF — Universal Modular Fuses.

Номинальный ток, на который рассчитан предохранитель, должен быть больше или равен рабочему току цепи, где он используется. Максимально допустимый рабочий ток через данный тип предохранителя зависит от стандарта и номинального напряжения (таблица 1).

Это означает, что номинал для предохранителей UL/CSA должен быть «завышен» на 30–40%, в то время как предохранители,

Таблица 1

Стандарт	Номинальное напряжение	Допустимый рабочий ток при 23 °С
UL/CSA	250 V	< 75% I _{rated}
UL/CSA	125 V	< 70% I _{rated}
IEC	250 V	< 100% I _{rated}
IEC	125 V	< 70% I _{rated}
IEC(UMF)	32 V–250 V	< 80% I _{rated}

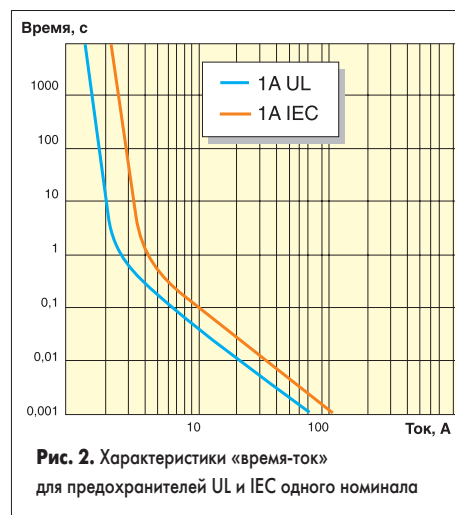


Рис. 2. Характеристики «время-ток» для предохранителей UL и IEC одного номинала

выполненные по стандарту IEC, могут использоваться продолжительное время при номинальном токе (рис. 2). Это «завышение» сделано для имитирования реальных условий работы, в противовес строгим условиям лабораторных тестов. Оно компенсирует возможные отклонения, закрытые держатели, движения окружающего воздуха, отклонения в проводах и дорожках печатной платы. Различия в определении номинального тока означают, что предохранитель с номиналом 1 А IEC приблизительно соответствует 1,4 А UL/CSA.

Выбор предохранителя

После ознакомления с параметрами предохранителя рассмотрим рекомендуемый порядок его выбора.

1. Необходимо определиться, где будет использоваться разрабатываемое оборудование и каким стандартам оно должно соответствовать: IEC, UL/CSA или каким-то другим. Этот выбор позволит в дальнейшем упростить процедуру сертификации устройства.
2. Следующим шагом является определение номинального напряжения предохранителя, которое должно быть не меньше рабочего напряжения защищаемой цепи: $V_{Rated} \geq V_{цепи}$
3. Значение разрывной мощности выбирается из учета максимально возможного тока (тока короткого замыкания) в цепи по формуле $I_{BC} > I_{K3}$, что гарантирует защиту от взрыва предохранителя и возникновения огня.

Проведя выбор по этим параметрам и учитывая тип монтажа (в отверстия или поверхностный), можно определить возможный тип предохранителя: миниатюрный, субминиатюрный и т. д.

4. При определении номинального тока необходимо учитывать рабочий ток, тип предохранителя и температуру окружающей среды.

– Под рабочим током понимается максимальное действующее значение тока в цепи в режиме нормального функционирования (IRMS MAX). Рекомендуется также учесть возможные отклонения напряжения питания.

– Второй параметр — коэффициент F_T , указанный в описании на серию предохранителя. Он характеризует допустимый ток при температуре 23 °С. Например, для предохранителя серии 198 (стандарт UL) $F_T=1,33$.

– Под окружающей температурой для элемента подразумевается температура среды в радиусе 1 см, которая зачастую выше комнатной в несколько раз. Для предотвращения преждевременного перегорания предохранителя окружающая температура не должна превышать 70 °С. Сопротивление контакта между предохранителем и платой приводит к дополнительному выделению тепла. Держатели, подводящие провода и печатные проводники, должны иметь как можно меньшее сопротивление. Требования к проводникам и дорожкам указаны в таблице 2.

Таблица 2

Максимальная нагрузка		Минимальное поперечное сечение (медь)		
Рабочий ток, А	Рассеиваемая предохранителем мощность, Вт	Печатный проводник, мм ²	Размер провода, мм ²	AWG*
6,3	1,6	0,1	0,75	18–17
10,0	2,5	0,2	1,5	15–13
16,0	4,0	0,2	2,5	13–11

* AWG (American Wire Gauge System) — Американская система оценки проводов

5. Более высокая температура окружающей среды означает дополнительную нагрузку на плавкий элемент. В технической документации на предохранитель номинальный ток рассчитан при температуре окружающей среды 23 °С. Поэтому необходимо или усиленное воздушное охлаждение, или перерасчет номинала для работы в заданных условиях. Во втором случае производится выбор предохранителя с более высоким номинальным током. На рис. 3 изображена зависимость изменения номинала от температуры. Кривая FF,F показывает зависимость для быстродействующих предохранителей (Fast Acting Fuse), а M,T — для предохранителей с задержкой (Time-lag Fuse).

Например, номинальный ток 1 А (одноамперного) предохранителя time-lag при 23 °С должен быть занижен до 780 мА при рабочей температуре окружающей среды 70 °С. Температурный коэффициент $F_T=0,78$ (100%–22%).

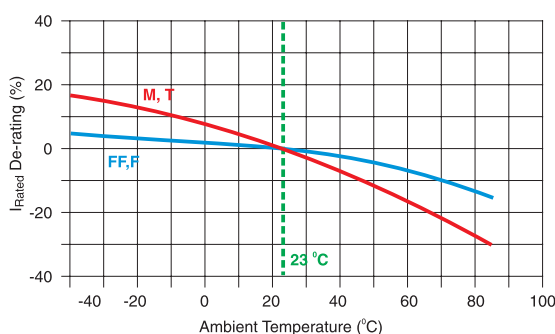


Рис. 3. График зависимости изменения номинала предохранителя от окружающей температуры

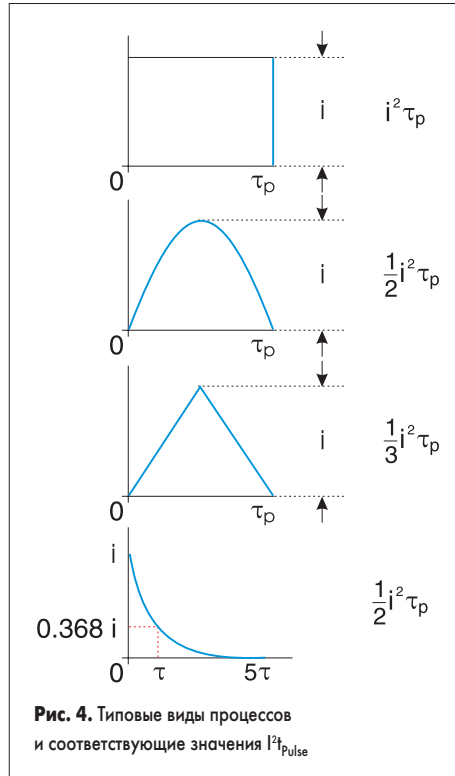


Рис. 4. Типовые виды процессов и соответствующие значения I^2t_{pulse}

Учитывая параметры F_I и F_T , номинальный ток предохранителя должен быть выбран как ближайшее большее значение $I_{rated} \geq I_{rms\ max} \times F_I \times F_T$.

6. В цепях со значительным реактивным сопротивлением, где присутствуют периодические выбросы тока и переходные процессы, предохранитель может преждевременно выйти из строя. Это связано с механическим износом плавкого элемента за счет термической нагрузки — циклического расширения и сжатия. Выбор соответствующего уровня тока приводит к выбору предохранителя со значением интеграла плавки I^2t_{Fuse} большим или равным, чем значение интеграла импульса I^2t_{Pulse} умноженного на показатель импульса (F_P). Формула этого соотношения выглядит следующим образом:

$$I^2t_{Fuse} \geq I^2t_{Pulse} \times F_P$$

Величина I^2t_{Pulse} определяется по виду переходного процесса (рис.4)

Коэффициент F_P является функцией от числа импульсов, которое должен выдержать плавкий элемент (см. рис. 5).

Таким образом, проведя описанную процедуру, можно выбрать предохранитель, наиболее близко соответствующий заданным параметрам. Разумеется, необходимо провести испытание устройства в различных состояниях — как нормального функционирования, так и в аварийном режиме.

Держатели

Для монтажа миниатюрных, субминиатюрных и blade-type предохранителей компания Wicmann выпускает более 40 серий держателей. На сегодняшний день для защиты оборудования наиболее широко используют предохранители размером 5×20 мм.

В зависимости от требований к изделию и расчетов разработчика возможно несколько вариантов монтирования предохранителей 5×20 мм в электронное устройство: от простых защелок до сложных систем держателей с различной степенью защиты.

Наиболее простой и дешевый способ монтажа миниатюрных и субминиатюрных предохранителей — использование предохранителей с выводами для пайки на печатную плату. Недостатками такого варианта является более сложная процедура замены перегоревшего элемента и ограничение максимального рабочего тока до 8 А.

Использование держателей-защелок (clips) позволяет быстро и просто заменять отработавший предохранитель. Данный тип держателей представляет собой металлический контакт специальной формы для сквозного монтажа на печатную плату. К особенностям защелок следует отнести необходимость согласования двух контактов при монтаже и последующую установку самого предохранителя. Ток в защищаемой цепи не должен превышать 10 А при рассеиваемой мощности менее 2,5 Вт.

Следующий тип держателя — открытый держатель, представляющий собой два контакта, объединенных в пластмассовый корпус. Он сочетает достоинства предыдущих типов — визуальное определение сработавшего элемента, простоту замены и невысокую стоимость, а также возможность одновременного монтажа держателя и предохранителя как на печатную плату, так и на проводник. Компания Wicmann производит колпачки для данного типа держателей, на которые может быть нанесена цветная маркировка используемого номинала. Новые серии держателя

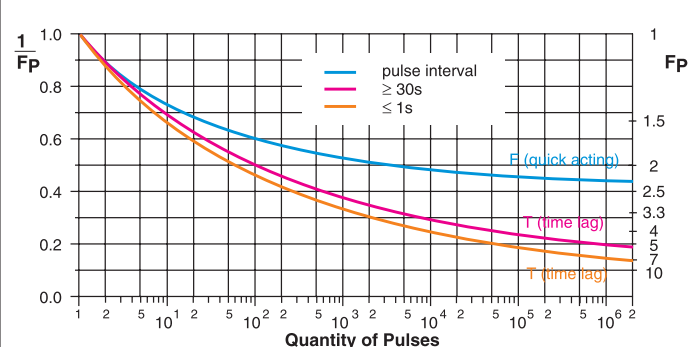


Рис. 5. Зависимость параметра F_P от числа импульсов

телей допускают использование припоев без свинца и поверхностный монтаж. Если максимальные значения тока и рассеиваемой мощности не превышают 10 А и 4 Вт соответственно, то открытые держатели являются наиболее удобным решением для монтажа.

Для максимальной защиты предохранителя от внешних воздействий, а также для обеспечения безопасной замены, компания Wicmann выпускает держатели типа Shock-safe. Держатели этого типа обеспечивают защиту от попадания мелких частиц, пыли, влаги и отвечают степеням защиты IP40, IP54 стандарта IEC 60529. Монтаж

shock-safe держателей производится как на печатную плату (вертикально или горизонтально), так и на корпус устройства, что позволяет получить быстрый доступ к элементу. В зависимости от серии держателя максимальный ток ограничен значением 16 А, а рассеиваемая мощность — 4 Вт.

Установка субминиатюрных предохранителей производится непосредственно на плату или с помощью держателей на корпус, на плату в отверстия или поверхностным монтажом на плату.

Blade-type предохранители монтируются в держатели, предназначенные для установ-

ки на печатную плату или для организации блока предохранителей.

Продукция компании Wicmann, более 70 лет специализирующейся на разработке и производстве предохранителей, позволяет организовать защиту электронной аппаратуры в соответствии с международными требованиями качества и безопасности. Использование рекомендаций инженеров компании при разработке оборудования позволит предотвратить выход из строя компонентов и блоков электронных устройств, снизит затраты на обслуживание и восстановление оборудования.