# ВЫБОР ИС ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

**НАЗЗАРЕНО РОСЕТТИ (NAZZARENO ROSSETTI), ДЖОН ВУДВОРД (JOHN WOODWARD)**, Maxim Integrated

***В статье сравнивается типовая реализация дискретного решения для защиты электронной нагрузки и эффективная интегральная схема нового семейства с очень гибким функционалом, которая занимает меньше места на печатной плате и требует меньшего числа компонентов.***

Электрические схемы, начинающиеся с линии переменного тока и заканчивающиеся цифровой нагрузкой, оснащены предохранителями и ограничителями бросков напряжения (transient voltage suppression, TVS) разных размеров и форм независимо от вида приложения. В схемах могут возникать броски тока, вызванные наличием накопительных конденсаторов, обратные токи при прекращении подачи электроэнергии, перенапряжения и посадка напряжения из-за переключения индуктивностей или грозовых разрядов, что ведет к повреждению важных электронных нагрузок. К ним относятся микропроцессоры и запоминающие устройства, построенные с использованием субмикронных технологий малого вольтажа. Таким образом, электронную нагрузку необходимо защитить, исключив на нее воздействие этих катастрофических событий (см. рис. 1).

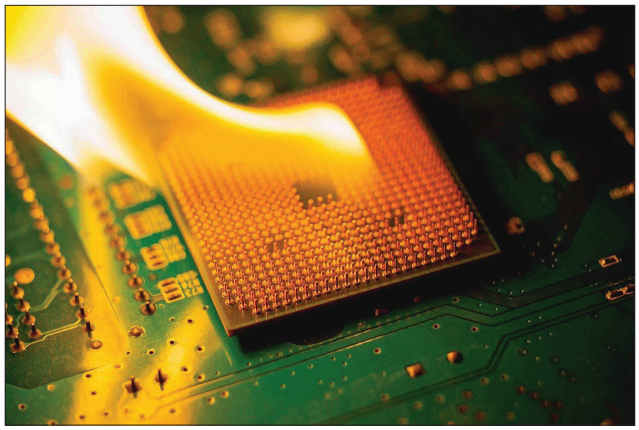

Рис. 1. **Воспламенение незащищенного центрального процессора**

## ТИПОВАЯ ЗАЩИТА СИСТЕМЫ

На рисунке 2 показана типовая схема защиты интеллектуальной нагрузки, например микропроцессора. DC/DC-преобразователь, состоящий из управляющей ИС2, MOSFET-ключей для синхронного выпрямления ($T_3$, $T_4$) и соответствующих диодов D3–D4, а также выходных конденсаторов фильтра ($C_{IN}$, $C_{OUT}$), подает питание на микропроцессор. Попадание броска напряжения с 48-В шины питания ($V_{BUS}$) на вход с напряжением $V_{IN}$ может привести к катастрофическим последствиям для DC/DC-преобразователя и его нагрузки. По этой причине необходимо обеспечить электронную защиту на входе. В рассматриваемом случае она реализована с помощью контроллера $ИС_1$, который управляет двумя дискретными MOSFET $T_1$ и $T_2$.

Защитная электронная схема должна быть способна работать в пределах номинального напряжения и тока в условиях отказа, которые возникают при перенапряжении или посадке напряжения, при перегрузке по току и протекании обратного тока. Если расчетный уровень бросков напряжения превышает номинальные значения электронной схемы, применяются дополнительные защитные уровни в виде фильтров и TVS-устройств.

## ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Если максимальное рабочее напряжение DC/DC-преобразователя равно 60 В, защитная ИС состоит из MOSFET-ключа $T_2$, который замкнут в диапазоне рабочего напряжения и разрывает цепь при напряжениях выше этого диапазона. Соответствующий внутренний диод $D_2$ смещен в обратном направлении в случае возникновения перенапряжения

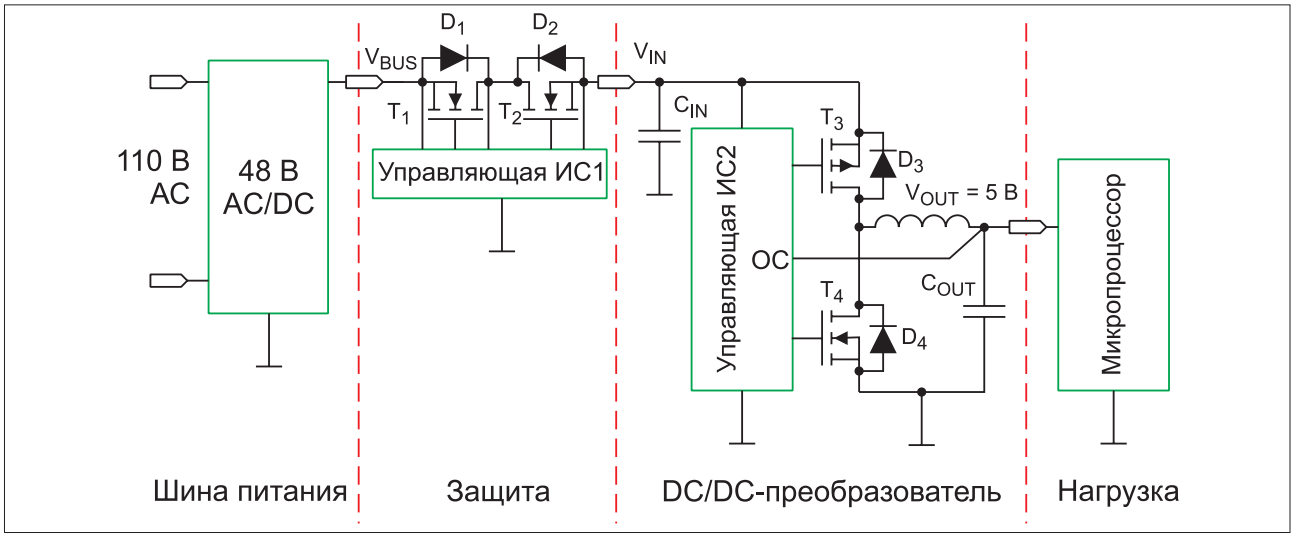


Рис. 2. **Типовая электронная система и ее защита**

и не играет никакой роли. Наличие $T_1/D_1$ тоже не имеет значения в данном случае, причем ключ $T_1$ полностью замкнут.

### ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ ПО ТОКУ

Даже если величина входного напряжения ограничена заданным диапазоном, проблемы остаются. В результате колебаний напряжения в сторону увеличения возникают большие броски тока CdV/dt, которые могут разрушить предохранитель или привести систему к перегреву, уменьшив надежность ее работы. Чтобы этого не произошло, для ограничения тока применяется защитная ИС.

### ЗАЩИТА ОТ ОБРАТНОГО ТОКА

Собственный диод MOSFET между стоком и истоком смещается в обратном направлении, когда ключ замкнут, и в прямом направлении в результате изменения полярности напряжения MOSFET. Таким образом, ключ $T_2$ сам по себе не способен блокировать отрицательные входные напряжения. Это происходит случайно, например при появлении отрицательного напряжения в переходном процессе или в результате прекращения подачи напряжения, когда входное напряжение (см. $V_{BUS}$ на рисунке 2) мало или отсутствует, а входной конденсатор $C_{IN}$ DC/DC-преобразователя подключается к шине питания через внутренний диод $D_2$. Для блокировки обратного тока транзистор $T_1$ устанавливается рядом с внутренним диодом $D_1$ для противодействия протеканию отрицательного тока. В результате появляется дорогостоящая конфигурация со встречным включением из двух MOSFET с собственными противоположно смещенными диодами.

### ИНТЕГРИРОВАННЫЕ MOSFET СО ВСТРЕЧНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ

Необходимость в использовании конфигурации со встречным включением очевидна, если применяются дискретные MOSFET (см. рис. 2), и менее очевидна, если управляющая схема и ключ интегрированы в одну ИС. Во многих ИС, оснащенных защитой от обратного тока, используется один MOSFET; при этом имеется дополнительная защита от обратного смещения внутреннего диода ключа независимо от поляризации MOSFET. Такая схема хорошо работает с 5-В MOSFET с симметричной конструкцией относительно истока и стока. В этом случае максимальное рабочее напряжение между истоком и внутренним диодом, а также стоком и внутренним диодом одинаково.

В рассматриваемом случае высоковольтные MOSFET не являются симметричными, и только сток предохраняет от воздействия высокого напряжения. Поскольку топология высоковольтных MOSFET является более уязвимой, у этих ключей с оптимизированным $R_{DS(ON)}$ исток закорочен на внутренний диод. В высоковольтном (свыше 5 В) интегральном решении также применяется конфигурация со встречным включением.

### ПРИЛОЖЕНИЯ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В приложениях с электроприводом постоянный ток двигателя управляется с помощью ШИМ мостового драйвера MOSFET. В состоянии ВЫКЛ. управляющего ШИМ-цикла ток возвращается во входной конденсатор, благодаря чему успешно реализуется схема восстановления энергии. В этом случае защита от обратного тока не требуется.

### ТРАДИЦИОННОЕ ДИСКРЕТНОЕ РЕШЕНИЕ

На рисунке 3 представлена дорогостоящая (с учетом большой площади печатной платы и списка комплектующих) дискретная реализация схемы на рисунке 2 ($V_{IN}$ = 24 В, защита в пределах –100…40 В). Под это решение на плате отведено место площадью 70 мм$^2$.

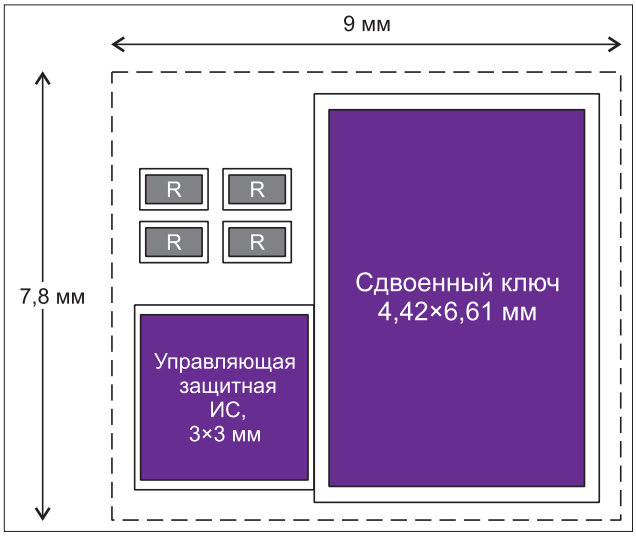


Рис. 3. **Традиционная защита с использованием дискретных компонентов (70 мм$^2$)**

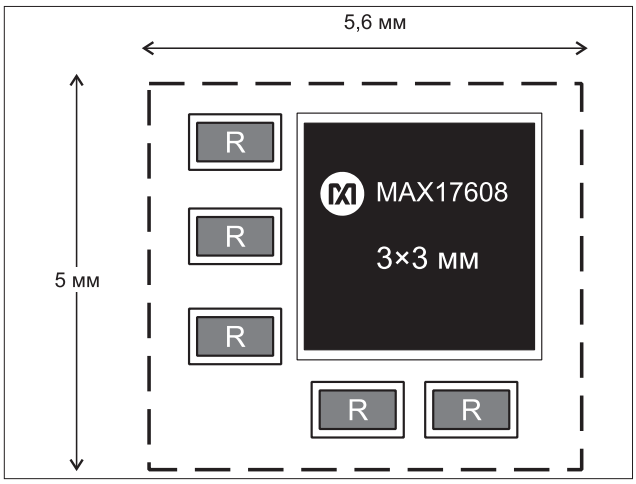


Рис. 4. **Защита с помощью ИС (28 мм$^2$)**

### ИНТЕГРАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

На рисунке 4 показана интегральная схема (ИС), состоящая из управляющего блока и силовых MOSFET, объединенных в корпусе TDFN-EP размером 3×3 мм. В этом случае площадь печатной платы меньше на 40% по сравнению с дискретным решением и составляет 28 мм$^2$.

### СЕМЕЙСТВО ЗАЩИТНЫХ ИС

Новое семейство устройств с регулируемыми порогами защиты от перенапряжения и перегрузки по току представляет собой пример интегральных решений. В их состав входит встроенный полевой транзистор с сопротивлением открытого канала 210 мОм. Эти ИС защищают последующие цепи от бросков входного напряжения в пределах до ±60 В. Пороговое значение защиты от превышения напряжения (OVLO) регулируется с помощью опциональных внешних резисторов в пределах 5,5–60 В. Регулируется также защита питания при пониженном напряжении с помощью опциональных внешних резисторов в диапазоне 4,5–59 В. При этом используется программируемое токовое ограничение до 1 А.

Пороговое значение ограничения по току программируется путем подключения соответствующего резистора к выводу SETI. ИС MAX17608 и MAX17610 блокируют протекание тока в обратном направлении, тогда как MAX17609 допускает такой ток. Эти устройства оснащены также функцией защитного отключения при внутреннем перегреве. Микросхемы выпускаются в небольшом 12-выводном корпусе TDFN-EP размером 3×3 мм. Расширенный диапазон рабочей температуры устройств составляет –40 …125°C.

## ВЫВОДЫ

Электронным нагрузкам требуется защита от эффектов, обусловленных отключениями электроэнергии и колебаниями сетевого напряжения, переключениями индуктивных нагрузок и грозовыми разрядами. Для сравнения мы рассмотрели типовое решение для защиты от этих эффектов с невысокой степенью интеграции и длинным перечнем компонентов. В этом случае у печатной платы – достаточно большая площадь. Интегральные схемы нового семейства имеют высокую функциональную гибкость и малое сопротивление открытого канала, защищают от прямого и обратного напряжений, а также от чрезмерного тока при минимальном списке компонентов и малой площади печатной платы. Такие микросхемы обеспечивают защиту электронной нагрузки с гарантированной надежностью.