

Рис. 2. Функциональная схема измерительного преобразователя для электролитического чувствительного элемента с двухчастотным питанием

После осреднения среднее значение переменной составляющей равно нулю, а коэффициент ее подавления определяется постоянной составляющей времени ФНЧ:

$$u_X = 0,5K_{yc}E_X\delta_R; \quad u_Y = 0,5K_{yc}E_Y\delta_r.$$

Литература

1. Измерительный преобразователь для двухосевого электролитического чувствительного элемента уровня на основе квадратурного питания / В. А. Карпов [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2021. – № 1. – С. 4–8.
2. Измерительный преобразователь для электролитического чувствительного элемента уровня с однополярным питанием / В. А. Карпов [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2021. – № 2. – С. 29–32.
3. Измерительный преобразователь для электролитического чувствительного элемента уровня с питанием общего электрода от источника переменного тока / В. А. Карпов [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2022. – № 1. – С. 7–10.

УДК 621.382

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КЛЮЧЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА НИЗКООМНУЮ НАГРУЗКУ

А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены структура и особенности работы интеллектуальных ключей на низкоомную работу. Предложен вариант дополнительной защиты ключей по температуре их корпуса с увеличенным гистерезисом включения и выключения их от нагрузки для обеспечения номинального температурного их режима работы при недостаточной площади теплоотвода.

Ключевые слова: интеллектуальный ключ, нагрузка, тепловая защита, статус.

ADDITIONAL PROTECTION OF INTELLIGENT KEYS WHEN WORKING ON A LOW-RESISTANCE LOAD

A. V. Kovalev, D. A. Litvinov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article considers the structure and features of the operation of smart switches for low-resistance operation. A variant of additional protection of keys according to the temperature of their case with an increased hysteresis of switching them on and off from the load is proposed to ensure their nominal temperature mode of operation with an insufficient heat sink area.

Keywords: Intelligent key, load, thermal protection, status.

В настоящее время в силовой автомобильной электронике массово используются ДМОП- или *DMOS*-транзисторы (от англ. *Double diffused MOS* – МОП-транзисторы, изготовленные методом двойной диффузии), оптимизированные для коммутации больших токов и предназначенные для работы при высоких напряжениях. Использование ДМОП-транзисторов требует комплектации их соответствующими драйверами и для снижения динамических потерь мощности быстро останавливающимися диодами. Основными недостатками дискретных ДМОП-транзисторов являются отсутствие внутренних защит от перегрузок по току и напряжению и необходимость построения внешних схем управления логикой работы ключей. Использование внешних защит не всегда эффективно, например, перегрев кристалла ДМОП-транзистора должен контролировать температурный датчик, расположенный на том же кристалле. Перегрузку по току лучше контролировать отводом тока от истока в соотношении, например, 1 : 5000. Для дискретного транзистора это приводит к появлению дополнительного вывода.

Для уменьшения дополнительных выводов и компонентов обвязки такие ведущие полупроводниковые компании, как Infineon (Siemens), STMicroelectronics, Philips, Motorola, Fuji Electric, International Rectifier, проделали большую работу и достигли значительных успехов в замене дискретных ДМОП-транзисторов интеллектуальными силовыми ключами (ИСК) на напряжения 12, 24 и 42 В [1–5]. Одним из преимуществ ИСК является возможность управление ключами непосредственно от логических схем, что позволяет отказаться от дополнительных драйверов ДМОП-транзисторов. В настоящее время сфера применения ИСК расширяется, затрагивая в первую очередь те направления, где нужна повышенная надежность. Это относится прежде всего к военной технике, авиации, транспорту, связи и т. д.

Интеллектуальные силовые ключи можно разделить на три группы:

- интеллектуальные ключи нижнего уровня;
- интеллектуальные ключи верхнего уровня;
- интеллектуальные ключи верхнего уровня с программируемой отсечкой тока.

У интеллектуальных ключей нижнего уровня исток соединяется с общим силовым проводом, нагрузка подключается между стоком и шиной питания. Использование входа управления для диагностики корректности режимов работы ключа позволяет обойтись всего тремя выводами корпуса. Низкое количество выводов корпуса и простота схемы интеллектуальных ключей нижнего уровня позволяют снизить цену этих приборов.

Чаще всего в автомобильной электронике нагрузка подключается к общему силовому проводу («массе»). В этих случаях управлять нагрузкой удобно с помощью интеллектуальных ключей верхнего уровня. Интеллектуальные ключи верхнего

уровня как правило имеют пять выводов на один канал (вход основной, вход диагностики, общий цифровой, вывод для подключения питания и выход). Дополнительный вход диагностики DG (diagnostics) или ST (status) позволяет контролировать состояние ключа во время работы и при включении. Большинство ИСК верхнего уровня способны определить обрыв (отключение) нагрузки, короткое замыкание выхода на общий провод или на шину питания, а также перегрев кристалла.

Интеллектуальные ключи верхнего уровня с программируемой отсечкой тока позволяют разработчику устанавливать нужный ток ограничения при перегрузке, выбирая номинал резистора R_{fb} ($fb = \text{feedback}$ – обратная связь). При этом не требуются низкоомные прецизионные резисторы для датчика тока в выходной цепи. Ключи этого типа, как правило, выпускаются в корпусах TO-220-5 и D2Pak-5. При срабатывании защиты (при перегреве или перегрузке по току) выходной транзистор выключается независимо от состояния ключа в данный момент времени. Минимальное значение тока отсечки составляет около 10 % от максимального уровня. Ключи также имеют активное ограничение тока, защиту от обратного включения источника питания, защиту от перегрева и от статического электричества.

В ИСК с программируемой отсечкой тока может быть реализована улучшенная функция защиты от перегрева под названием WAIT (ожидание, задержка включения). При отсутствии функции WAIT температура кристалла может превысить максимально допустимое значение и достичь теплового пробоя. Функция WAIT, реализованная с помощью таймера и логических элементов обеспечивает задержку перезапуска ключа. Таким образом, транзистор получает дополнительное время на остывание, что исключает тепловое разрушение кристалла интеллектуального ключа.

Для минимизации размеров и снижения стоимости готовых изделий для автомобильной электроники разработчики стараются применять более дешевые ИСК верхнего уровня без программируемой отсечки по току, уменьшить размеры платы и снизить материалоемкость. Это приводит к тому, что приходится уменьшать площадь теплоотвода ИСК убирая радиатор или уменьшая площадку для монтажа ключа. В номинальном режиме работы ИСК работа будет обеспечена интеллектуальностью компонентов ключа, однако в аварийном режиме работы на низкоомную нагрузку (режим короткого замыкания (КЗ)) несоблюдение рекомендованных производителем площадей теплоотвода приведет к недопустимому перегреву ИСК. На практике бывали случаи, когда ИСК от перегрева отпаивался от контактных площадок и смещался с места исходного монтажа на плате.

Вторая проблема при использовании ИСК верхнего уровня заключается в необходимости использовать дополнительный вход микроконтроллера для анализа статусного выхода ключа, чтобы иметь возможность программной блокировки работы ключа в аварийном режиме.

Третья проблема заключается в том, что производитель ИСК для удешевления продукции не выводит наружу статусный выход ключа, например, ключ BTS462T [6] и разработчик не имеет возможности использовать интеллектуальность ключа для программной блокировки работы в аварийном режиме. Для решения приведенных проблем было разработано и испытано бюджетное решение в виде дополнительной защиты от перегрева кристалла ИСК, которое базируется на температурной зависимости рп-перехода полупроводникового диода. Схемная реализация многоканальной защиты и ее реализация представлены на рис. 1.

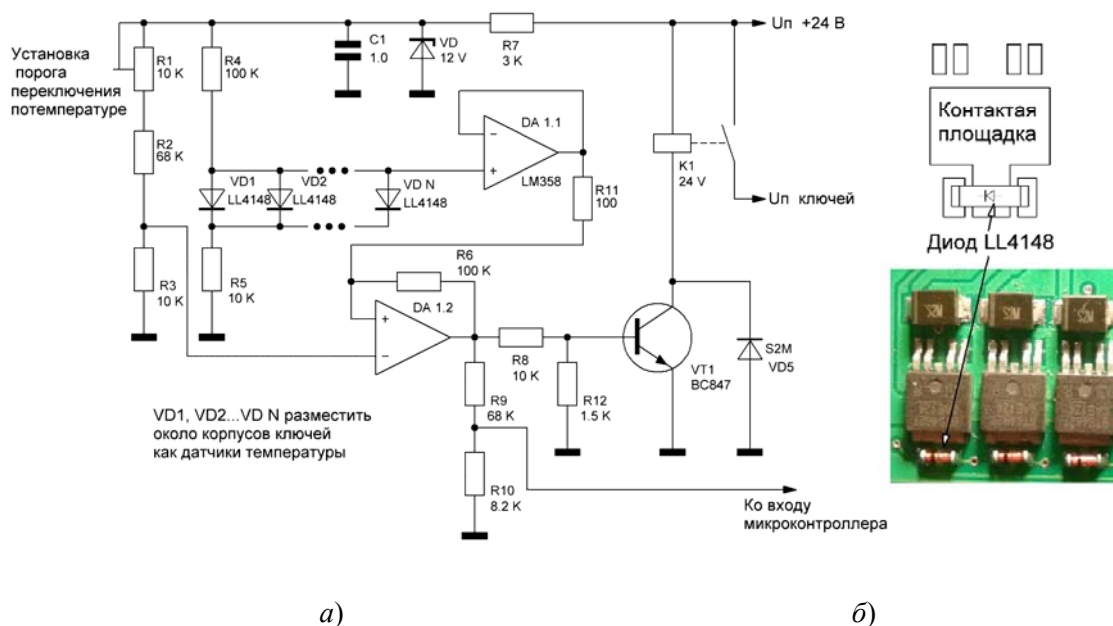


Рис. 1. Схемная реализация многоканальной защиты: а – тепловой защиты ключей; б – вариант практической реализации

Температурный датчик в виде SMD диода LL4148 располагается над площадкой из медной дорожки, которая связана с контактной площадкой корпуса ключа.

Разработчик может использовать схему в двух вариантах: режим аппаратной защиты и режим аппаратно-программной защиты.

В первом случае по выходному сигналу схемы можно отключать внешний коммутационный элемент подачи силового питания на ИСК. После того как ключ остынет до настроенной температуры, подача питания будет снова восстановлена. Резистором R1 настраивается порог срабатывания защиты и соответственно постоянная времени «отдыха» ключа.

Во втором случае можно использовать выходной сигнал схемы для группового или выборочного анализа работы ключей с использованием одного из входов микроконтроллера, что позволит обеспечить более гибкий алгоритм работы дополнительной защиты ИСК.

Литература

1. Dunn, W. C. Driving and Protection of High Side NMOS Power Switches / W. C. Dunn // IEEE Transaction on Industry Application. – 1992. – Vol. 28, № 1.
2. Pribyl, W. Integrated Smart Power Circuits Technology, Design and Application / W. Pribyl // Siemens Entwicklungszentrum für Mikroelektronik GmbH.
3. Cost Effective Smart Power Technology for 45V Application / A. Marty-Blavier [et al.] // European Solid-State Device Research Conf, 1995.
4. High-Side Intelligent Power Switch Technology / T. Morimoto [et al.] // Fuji Electric Review. 1994. – Vol. 40, № 4.
5. A Self-Isolated CDMOS Technology for the Integration of Multi-Channel Surge Protection Circuits / K. Yoshida [et al.] // Power Semiconductor Devices and ICs. IEEE 15th International Symposium, 2003.
6. Режим доступа: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BTS462T-DS-v01_01-EN.pdf. – Дата доступа: 10.09.2022.