

Интегральные датчики температуры в силовой электронике

Николай АБРАМОВ
Александр ГАВРИЛИН
Евгений СЕМИДЕЛИХИН
diiod@proton-impuls.ru

Изделия силовой электроники значительно превосходят аналогичные электромагнитные устройства по габаритам и весу, надежности и долговечности, быстродействию и частоте переключений, а также по количеству срабатываний и отсутствию шума. Однако они подвержены отказам из-за перегрева. В статье показано возможное решение для устранения перегрева и уменьшения числа отказов.

Проблема защиты изделий силовой электроники (ИСЭ) от превышения предельно-допустимого тока в нагрузке, от токов короткого замыкания и, как следствие, от повышенной мощности рассеивания на силовом ключе, остается наиболее важной при создании новых силовых приборов.

Передовые производители электроники вводят в твердотельные реле (ТТР) и силовые модули элементы систем диагностики и защиты. Так, фирма Teledyne выпускает ТТР переменного тока серии SSH24D35(50) и SSH48D50(75) со статусным выходным сигналом обрыва или короткого замыкания нагрузки. Микросхема оптоэлектронного драйвера затвора HCPL316J фирмы Agilent Technologies снабжена функцией контроля напряжения насыщения силового транзистора. По этому напряжению косвенно можно оценить мощность рассеивания на транзисторе и обеспечить его защиту от перегрева. Канадская фирма Cristal Controls планирует разрабатывать ТТР со встроенной защитой от перегрева.

Тем не менее, проблема тепловыделения на силовом ключе остается весьма актуальной. Преобладающее количество отказов ИСЭ связано с превышением максимально допустимой температуры, при которой в кристалле возрастает энергия активации и происходит ускоренное старение силового полупроводника. Для того чтобы удержать температуру ИСЭ в допустимых пределах и отвода тепла применяют охладители, однако и в этом случае существуют причины, по которым происходит превышение допустимой температуры кристалла.

Эту проблему нельзя решить применением стандартных приборов тепловой защиты, так как с их помощью оценивается перегрев, вызванный протекающим током, и фактически контролируется ток, а не температура си-

лового элемента, обусловленная, например, неэффективным теплоотводом.

В настоящее время различные фирмы, например, International Rectifier, Semicron, ЗАО «Протон-Импульс» и др., производящие ТТР и силовые модули, публикуют на сайтах расчет силовых режимов своих изделий. Это делается для того, чтобы разработчики радиоэлектронной аппаратуры могли обеспечить безопасный тепловой режим ИСЭ. Однако расчет теплового режима силового элемента представляет собой весьма сложную задачу. Автоматизированные программы теплового расчета слабо отражают физические процессы в силовом элементе, что вызывает недоверие к результату расчета. При оценке тепловых режимов по формулам и графикам возникает необходимость освоения новой для электронщиков области — теплотехники — и учета множества факторов, влияющих на тепловой режим. Так, например, перегрев и выход из строя ИСЭ могут возникнуть из-за увеличения слоя теплопроводящей пасты. Таким образом, расчет теплового режима ИСЭ — это самостоятельная, трудоемкая и кропотливая работа.

Но можно и другим путем защитить ТТР от превышения допустимой температуры и повысить надежность ИСЭ. Для этого необходимо ввести в ТТР систему защиты силового элемента от перегрева. Тогда при превышении допустимого теплового режима ТТР удастся предотвратить выход его из строя.

Сейчас выпускаются различные по конструкции и характеристикам датчики температуры — от термисторов, термопар и особо точных тонкопленочных платиновых датчиков до современных интегральных датчиков температуры (ИДТ).

Преимущество ИДТ перед другими датчиками — простота их использования в термометрах и терморегуляторах, так как не требуется осуществлять линеаризацию характери-

стик и компенсацию влияния холодного спада на измерения.

По виду выходного сигнала интегральные термодатчики разделяются на следующие типы:

- температурные ключи, имеющие релейную зависимость выходного параметра от температуры;
- датчики с цифровым выходом, реализующие различные интерфейсы: SPI, I²C, 1-Wire и т. п.;
- импульсные, в которых в зависимости от температуры изменяется частота выходного сигнала или длительность либо скважность импульсов выходного сигнала;
- аналоговые, у которых в зависимости от температуры изменяется выходное сопротивление, напряжение или ток.

Особую группу датчиков составляют современные интегральные цифровые датчики, которые изготавливают фирмы Dallas Semiconductor, Analog Devices, National Semiconductor и др. При использовании таких датчиков гарантируется определенная погрешность измерения температуры, не требуются точные (стабильные) источники питания и подстройка, упрощается их стыковка с цифровыми устройствами (микроконтроллерами, компьютерами и т. п.).

Цифровые датчики температуры позволяют в своем составе реализовывать дополнительные узлы, что добавляет им множество новых функций, таких как:

- блоки энергонезависимой памяти для хранения данных пользователя;
- часы реального времени;
- термостат.

Большие возможности открываются для разработчиков аппаратуры, использующих режим термостата, реализованный в некоторых цифровых датчиках температуры. Если в этом режиме запрограммировать верхний и нижний пределы регулирования, то мож-

Таблица. Интегральные термодатчики

Тип термодатчика	Диапазон измеряемых температур, °С	Точность измерения температуры, °С	Выходной сигнал	Интерфейс	Дополнительные функции
Фирма Analog Devices					
AD590	-55...+150	±0,5	ток		
AD22100	-50...+150	±2,0	напряжение		
TMP03	-40...+100	±3,0	цифровой	ШИМ	
AD7314	-55...+125	±3,0	цифровой	SPI	
Фирма Dallas/Maxim					
DS600	-40...+125	±0,5	напряжение		термостат
DS1820	-55...+125	±0,5	цифровой	1-Wire	
DS1821	-55...+125	±1,0	цифровой	1-Wire	термостат
MAX6501	-55...+125	±0,5	цифровой	логический	термопереключатель
MAX1618	-55...+125	±4,0	цифровой	SMBus	выносной сенсор
Фирма National Semiconductor					
LM35	-55...+150	±2,0	напряжение		
LM77	-55...+125	±3,0	цифровой	Two-Wire	термокомпаратор
Фирма Philips Semiconductors					
КТУ81-110	-55...+150	±1,3	сопротивление		
КТУ84-130	-40...+300	±4,8	сопротивление		
КТУ85-110	-40...+125	±1,3	сопротивление		

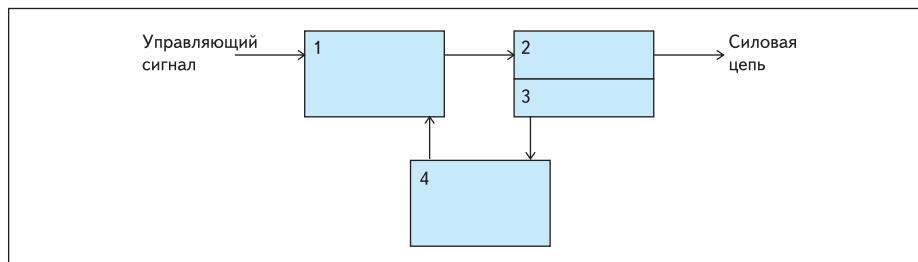


Рис. 1. Функциональная схема ТТР с защитой от перегрева. 1 — схема управления, 2 — силовой ключ, 3 — термодатчик, 4 — схема блокировки.

но обеспечить поддержание температуры с требуемым гистерезисом.

Некоторые типы цифровых интегральных термодатчиков представлены в таблице.

Одним из способов предотвращения перегрева ТТР является обеспечение контроля температуры полупроводникового силового элемента. На предприятии «Протон-Импульс» разработано ТТР со встроенной защитой от перегрева, в котором при достижении критической температуры силовой выход отключается. Функциональная схема ТТР с защитой от перегрева представлена на рис. 1.

Работает система защиты от перегрева следующим образом. При коммутации тока в ТТР происходит выделение тепла на *p-n*-переходах силового ключа 2, температура которого будет повышаться до тех пор, пока не стабилизируется на определенном уровне. В результате устанавливается тепловой баланс между силовым ключом 2, создающим нагрев от протекающего тока, и поверхностью, рассеивающей тепло в окружающее пространство.

Для измерения температуры, при которой устанавливается тепловое равновесие, и для предотвращения ее увеличения выше предельно допустимой, в ТТР непосредственно на силовом ключе 2 размещен термодатчик 3. Этот термодатчик измеряет температуру *p-n*-перехода, которая отличается от температуры термодатчика всего на 2–3 °С.

При увеличении температуры выше заданной происходит срабатывание схемы блоки-

ровки 4, сигнал которой поступает на схему управления 1 и выключает силовой ключ 2. ТТР снабжено индикацией включенного состояния и индикацией перегрева.

При использовании нескольких реле одного типа в одинаковых тепловых режимах можно использовать одно-два ТТР с защитой от перегрева, по которым будет отслеживаться общий тепловой режим системы, совместно с более дешевыми реле без защиты.

На предприятии «Протон-Импульс» разработаны однофазные и трехфазные ТТР переменного тока с рассмотренной выше защитой от перегрева. Разрабатываются ТТР со специальным выходом статусного сигнала. При использовании такого сигнала, например, для управления включением вентилято-

ра, обдувающего охладитель, увеличивается срок службы вентилятора и уменьшается энергопотребление устройства. Кроме того, силовой выход такого реле блокируется при превышении силовым элементом максимально допустимой температуры.

Указанные преимущества системы защиты от перегрева ТТР реализованы в специальной сборке с переменным тепловым сопротивлением, содержащей ТТР, охладитель, вентилятор и плату управления вентилятором. Такая сборка может быть снабжена защелками для крепления на DIN-рейке. В указанном изделии исключены просчеты потребителя при установке ИСЭ на охладитель.

С помощью цифровых ИДТ разработчик может создать систему защиты от перегрева с учетом алгоритма и функционального назначения своего изделия и с использованием информации о текущей температуре: например, включать вентилятор при более низкой температуре силового элемента, переключать или уменьшать коммутируемый ток и т. п.

Цифровые датчики температуры могут быть применены не только для защиты реле от перегрева, но и для систем поддержания температуры в заданных пределах в термостатах, термокамерах, в холодильном оборудовании и т. п.

Рассмотрим несколько устройств с ИТД.

ИСЭ с интегральными датчиками температуры

Термостатическое реле переменного тока

Термостатическое реле выполнено в типовом корпусе и содержит выносной датчик температуры. Датчик сначала программируется, затем подключается к реле и размещается в зоне, в которой необходимо поддерживать заданную температуру. С помощью реле управляют либо нагревательным элементом (ТЭН), либо компрессором холодильной установки.

Основные характеристики реле:

- длина провода выносного датчика до 10 м;
- программируемый диапазон температур;
- программируемая ширина гистерезиса температурной зависимости;

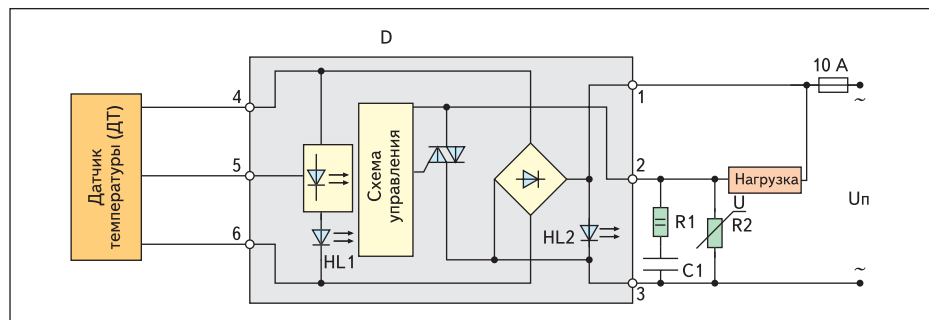


Рис. 2. Структурная схема термостатического реле: D — реле; HL1 — индикатор включения нагрузки (красный светодиод); HL2 — индикатор включения сети (зеленый светодиод); R1, C1 — снабберная цепь; R2 — защитный варистор

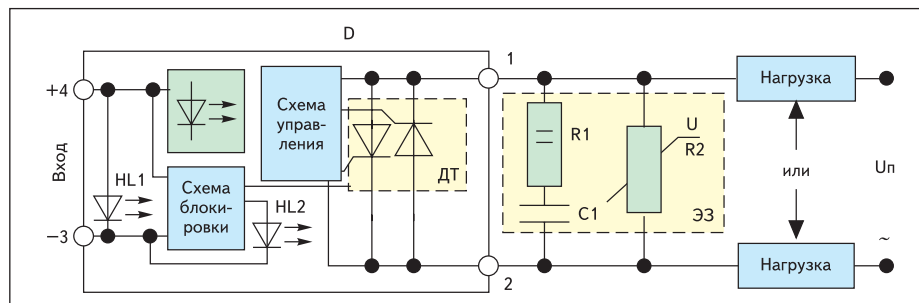


Рис. 3. Структурная схема реле с защитой от перегрева: D — реле; ДТ — область расположения датчиков температуры; HL1, HL2 — светодиоды индикации ЭЗ — ЭЗ3-380(158)-RC

- индикация включенной нагрузки;
- индикация наличия напряжения питания;
- встроенная защита от перегрева силового элемента;
- максимальный диапазон температур от -50 до 120 °C;
- максимальный коммутируемый ток нагрузки 10 А.

Структурная схема термостатического реле и схема соединения его с нагрузкой показаны на рис. 2.

Реле с защитой от перегрева

Реле предназначено для применения в устройствах автоматики в качестве мощного интерфейса в цепях переменного тока и содержит схему, контролирующую переход напряжения переменного тока через ноль, и управляемые нормально-разомкнутые контакты. Силовые ключевые элементы реле снабжены температурными датчиками, функционирующими в режиме термостата. При перегреве силового элемента блокируется сигнал управления реле и включается соответствующая световая сигнализация. По остальным выполняемым функциям такое реле ничем не отличается от реле без защиты: оно выполнено в том же корпусе, имеет соответствующие выводы и обеспечивает коммутацию тех же значений токов и напряжений.

Структурная схема реле с защитой от перегрева и схема соединения его с нагрузкой приведены на рис. 3.

На рис. 4 изображена зависимость температуры силовых элементов от времени у 20-амперного ТТР с защитой от перегрева при эксплуатации без охладителя при токе нагрузки 15 А. Защита запрограммирована на срабатывание при верхнем уровне температуры 94 °C и нижнем 89 °C. Как показано на рис. 4, через 5 минут после включения нагрузки температура силовых элементов достигла значения, превышающего верхний уровень разрешенного диапазона температур. Без встроенной системы защиты от перегрева произошло бы дальнейшее нарастание температуры, затем — тепловой пробой кристалла силового элемента и выход ТТР из строя. Однако при наличии защиты этого не происходит.

Таким образом, с внедрением системы защиты от перегрева с интегральными датчиками температуры удалось устранить отказы ИСЭ и значительно повысить их надежность. ■

Литература

1. <http://www.maxim-ic.com/products/sensors/> (раздел «Термическое Управление, Сенсоры и Сенсорные Формирователи» на сайте производителя Maxim Integrated Products and Dallas Semiconductor).

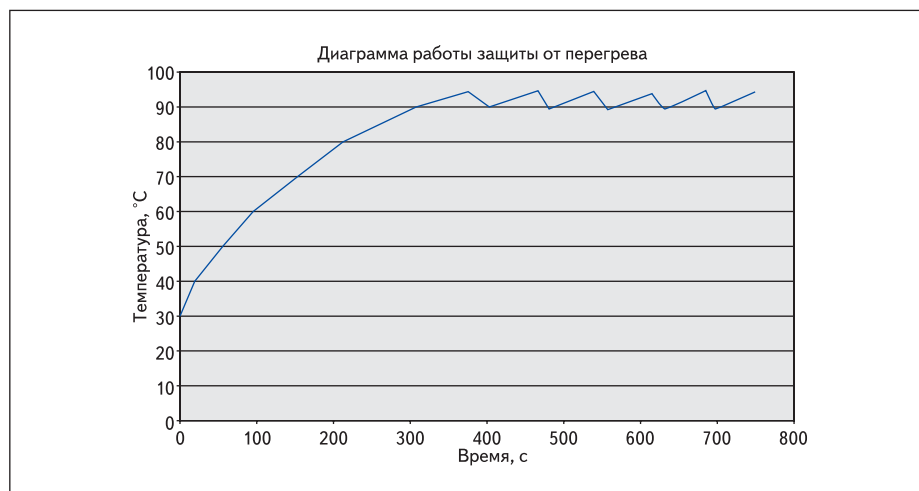


Рис. 4. Зависимость температуры силовых элементов ТТР от времени