

Новая микросхема приемопередатчика для интерфейса RS-485 компании АО «ПКК Миландр»

Д. Колесников¹, Е. Сухотерин², В. Богданов³, Ю. Павлюк⁴, А. Тучин⁵

УДК 621.3 | ВАК 05.27.01

Компания АО «ПКК Миландр» подготовила к выходу на рынок новую микросхему приемопередатчика для интерфейса RS-485 – K5559ИН86SI. При ее разработке был реализован ряд возможностей, которые позволят передавать данные на высоких скоростях и избежать проблем, часто возникающих при эксплуатации. О характеристиках и особенностях данной микросхемы рассказывается в статье.

RS-485. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Прежде чем говорить о новой микросхеме необходимо разобраться, что из себя представляет сам стандарт передачи данных. В RS-485 для передачи и приема данных используется витая пара. Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов, что обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе (рис. 1). Это очень важное свойство, поскольку, когда

к сети подключено множество устройств, часто возникают всплески напряжения.

На практике для реализации топологии RS-485 нужны микросхемы приемопередатчиков. При этом, разумеется, характеристики микросхемы должны полностью соответствовать требованиям стандарта.

При организации сети с использованием интерфейса RS-485 (рис. 2) микросхема, которая передает

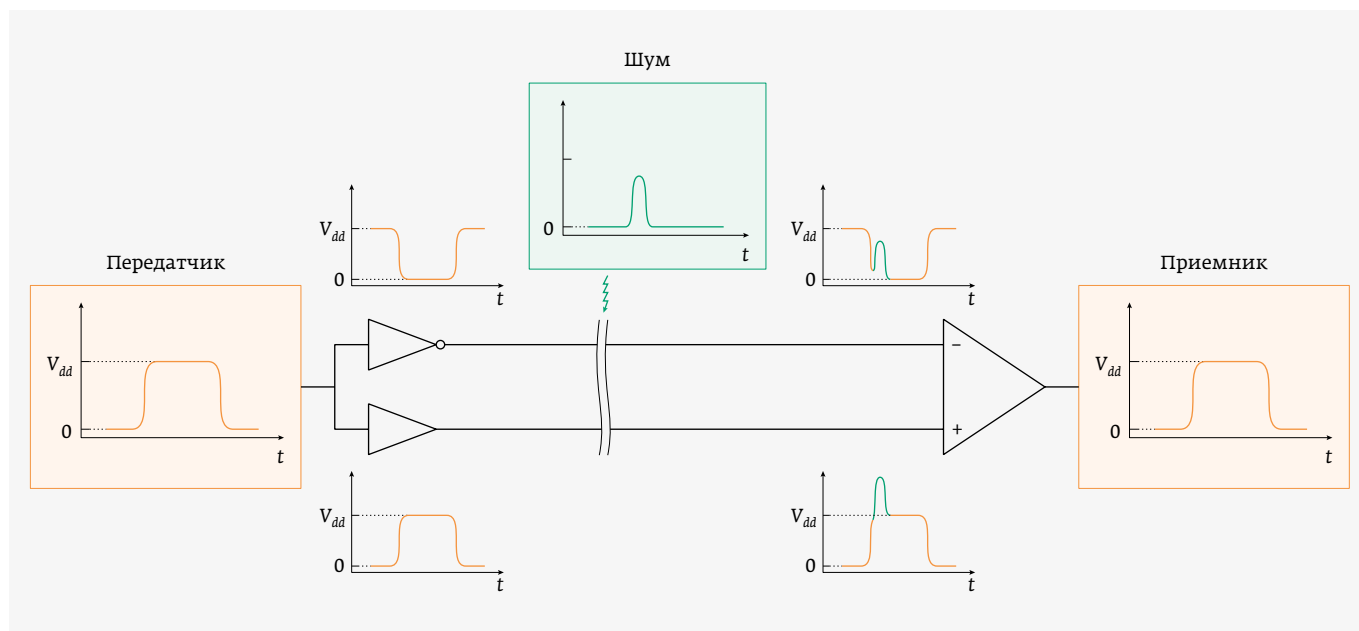


Рис. 1. Устойчивость к синфазной помехе

¹ АО «ПКК Миландр», директор центра проектирования интегральных микросхем, kolesnikov.d@milandr.ru.

² АО «ПКК Миландр», начальник лаборатории разработки аналоговых блоков, sukhoterin.e@milandr.ru.

³ АО «ПКК Миландр», начальник лаборатории измерений электронных модулей, bogdanov.v@milandr.ru.

⁴ АО «ПКК Миландр», инженер 2 категории отдела разработки радиочастотных ИС и преобразователей, pavlyuk.ym@milandr.ru.

⁵ АО «ПКК Миландр», начальник лаборатории разработки топологии блоков и IO-ячеек, tuchin.a@milandr.ru.

информацию, называется Master, а которая принимает информацию – Slave. Максимальное количество устройств в линии может быть 256.

Для того чтобы создать сеть на основе RS-485 для микроконтроллеров, необходимо использовать дополнительную микросхему приемопередатчика (рис. 3). Микроконтроллер подключается к ней по протоколу UART, после чего приемопередатчик начинает вещание.

Компания АО «ПКК Миландр» уже выпускает серийно микросхему K5559ИН10Б5I [1], но ввиду того как быстро увеличиваются объемы данных, которые передают контроллеры, скорости 2,5 Мбит/с, которую обеспечивает эта микросхема, уже недостаточно. Далее будем рассматривать новую микросхему K5559ИН865I [2], которая позволяет передавать данные со скоростью 30 Мбит/с.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МИКРОСХЕМ ДЛЯ RS-485 – K5559ИН865I

Может возникнуть вопрос: зачем выпускать микросхему, аналоги которой уже есть на рынке? Здесь можно выделить несколько причин:

- Электросчетчики. Компания АО «ПКК Миландр» долгое время занимается разработкой счетчиков и постепенно переходит на свою элементную базу [3]. В большинстве счетчиков применяется микросхема RS-485 предыдущего поколения – K5559ИН10Б5I, однако с каждым годом растут объемы передаваемых данных, поэтому необходимо повышать скорость приемопередатчиков.
- Поддержка напряжения 3 В. Постепенно 5-В стандарт теряет свою актуальность, и новые продукты уже разрабатываются с 3-В приемопередатчиками. Этот переход дает существенные преимущества в потребляемой мощности и скорости передачи данных.

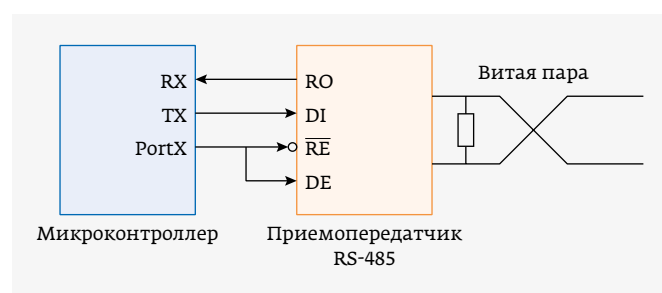


Рис. 3. Подключение микросхемы приемопередатчика к микроконтроллеру

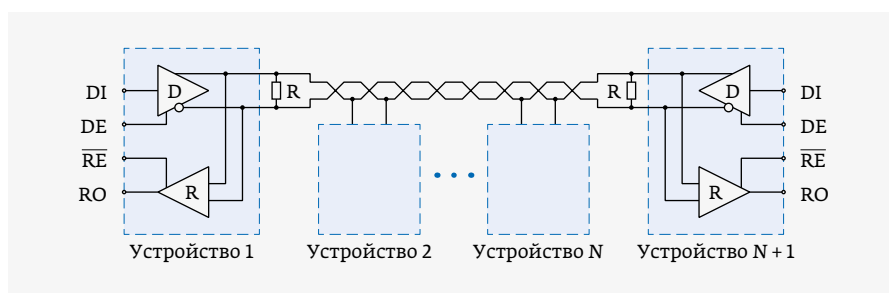


Рис. 2. Типовая схема применения микросхем приемопередатчиков RS-485

- Совместимость. Для выхода на коммерческий рынок мы разработали две основные стратегии: поиск маржинальных продуктов (подход детально описан в статье про АЦП [4]) и совместимых по функционалу, выводам и характеристикам микросхем. Для того чтобы не быть связанным с одним поставщиком, разработчики аппаратуры часто выбирают несколько совместимых микросхем. Такой подход дает несколько плюсов: независимость от поставщика и шанс удешевить свой продукт, выбрав микросхему с меньшей стоимостью. У 30-Мбит/с микросхемы RS-485 есть множество аналогов (MAX14783EEUA, ST3485EB, ADM3490E, THVD14xx и др.).

Микросхема нового поколения приемопередатчика RS-485 выполнена в простом и дешевом 8-выводном пластиковом корпусе SO-8 (рис. 4). Такое решение продиктовано потребностью выпуска микросхемы большими партиями с минимальной ценой. Кристалл получилась довольно маленький (1,3×1,3 мм) (рис. 5), что позволит конкурировать в цене с ведущими мировыми производителями. Более подробно о характеристиках микросхемы можно прочитать в спецификации [5].

Параметры K5559ИН865I получились сравнимыми с зарубежными аналогами (табл. 1). Однако достижение хороших показателей параметров является лишь «верхушкой айсберга». Помимо того, что описано в стандарте, у любой микросхемы есть свои отличительные особенности. Рассмотрим некоторые из них.

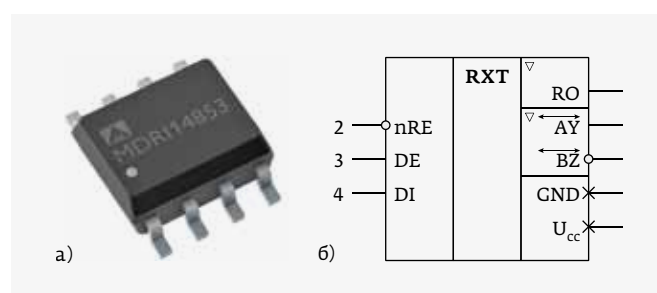


Рис. 4. Внешний вид в корпусе (а) и схема выводов (б) приемопередатчика K5559ИН865I

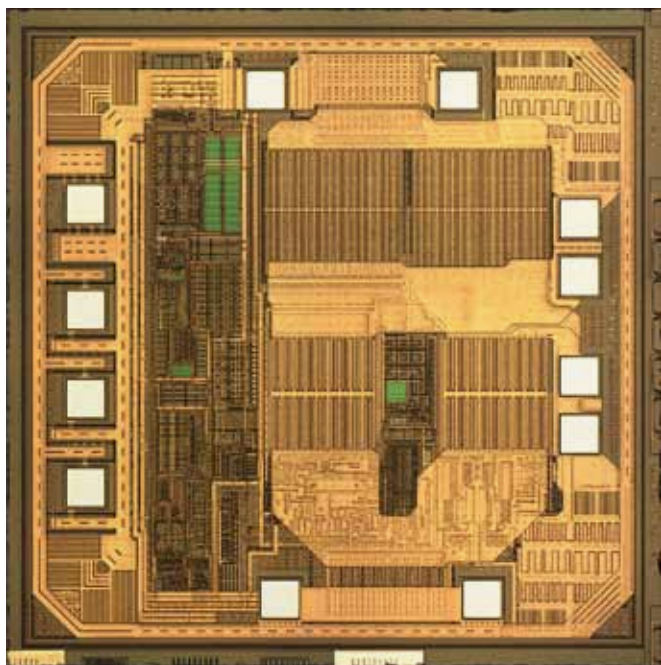


Рис. 5. Топология микросхемы K5559IN86SI

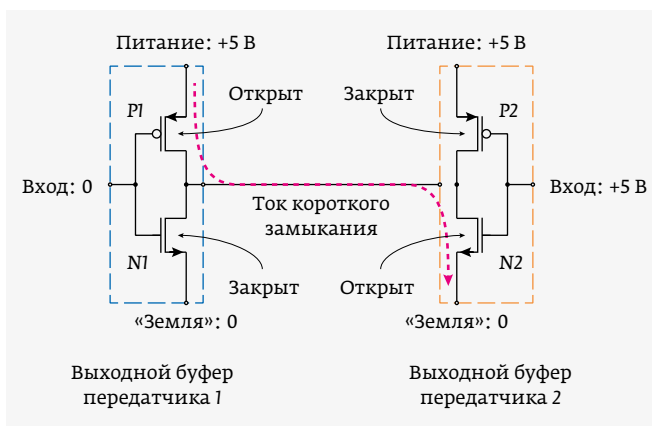


Рис. 6. Путь протекания тока короткого замыкания

ЗАЩИТА ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

При организации сетей на базе RS-485 возможна ситуация, когда передатчик «вещает» в линию, в которой устойчиво присутствует другой потенциал. Чаще всего такая ситуация встречается при одновременном «вещании» двух или более передатчиков. Что

Таблица 1. Сравнение параметров микросхемы K5559IN86SI с зарубежными аналогами

Параметр	K5559IN86SI	MAX14783EEUA	ST3485EB	ADM3490E	THVD14xx
Напряжение питания, В	3,0–5,5	3,0–5,5	3–3,6	3–3,6	3,0–5,5
Скорость передачи данных (макс.), Мбит/с	30	30	15	12	50
Ток потребления в рабочем режиме, мА	1,4 (макс. 2)	1,9 (макс. 4)	1,3 (макс. 2,2)	1,1 (макс. 2,2)	2,4 (макс. 3)
Ток потребления в режиме «выкл.», мкА	<2	<10	<1	<10	<1
Ток утечки по выводам AY и BZ, мкА	–100...125	–800...1000	–800...1000	–800...1000	–100...125
Входное сопротивление приемника, кОм	96	12	24	12	96
Дифференциальное выходное напряжение, В	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5
Порог переключения приемника, В	–0,210...–0,030	–0,200...–0,010	–0,200...–0,010	–0,200...–0,010	–0,25...–0,05
Задержка распространения сигнала передатчика, нс	25	20	30	35	20
Время включения передатчика (приемник включен), нс	60	30	50	90	50
Время включения передатчика (приемник выключен), мкс	10	6	0,05	0,9	6

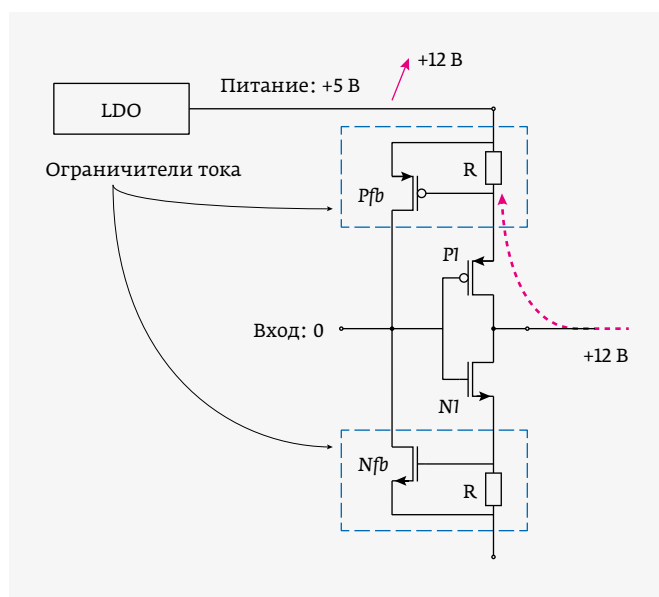


Рис. 7. Схема защиты от короткого замыкания с применением резисторов

будет с микросхемами передатчиков при таком включении? Рассмотрим данную ситуацию на простом примере (рис. 6). Подключим напрямую два передатчика (возьмем только одно соединение для витой пары, для ее другого проводника все будет тоже самое, но с инверсией): на выходе передатчика 1 будет потенциал +5 В («питание»), на выходе передатчика 2 будет 0 («земля»).

Транзисторы P1 и N2 будут открыты, и без наличия дополнительной защиты через них будет идти ток короткого замыкания (КЗ), который будет ограничен только незначительными сопротивлениями самих транзисторов и проводника. Чаще всего в такой ситуации исход один – тепловой пробой транзисторов.

По стандарту RS-485 напряжение в линии может быть от -7 до +12 В (это связано с тем, что «земли» микросхем могут находиться на довольно приличном расстоянии друг от друга – более одного километра). Худшая ситуация, то есть максимальные токи короткого замыкания, может возникнуть, когда передатчик передает логическую единицу, а в линии присутствует потенциал -7 В, или когда передатчик передает логический ноль, а в линии потенциал 12 В.

Простейший способ обезопасить схему от КЗ – добавить ограничивающие резисторы для каждого транзистора выходного буфера (рис. 7). Когда ток через них увеличивается, по закону Ома напряжение δU на резисторе начинает расти. Когда δU становится равным порогу срабатывания транзистора (Pfb и Nfb на рис. 7), включается обратная связь и ток КЗ достигает насыщения. Однако попытка применить такой способ привела к проблемам.

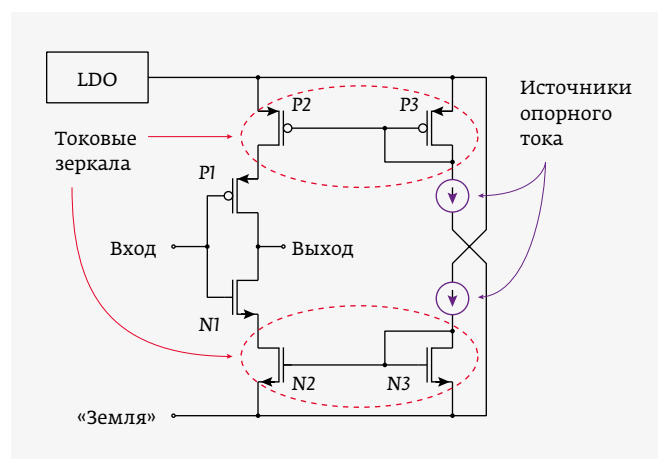


Рис. 8. Схема ограничения максимального тока КЗ с помощью токовых зеркал

Из-за того, что в цепи напряжение может быть выше напряжения питания, появляется обратный ток. Если бы система питалась от внешнего источника, он мог бы подавить это напряжение, но питание осуществлялось от внутреннего LDO (линейный регулятор напряжения). Обратный ток повышал напряжение LDO, и схема сгорала. Решение, которое было придумано, выглядит следующим образом.

Источники опорного тока задают ток через транзисторы N3 и P3 (рис. 8). Схема токового зеркала определяет максимальный ток, который может проходить через транзисторы N2 и P2, тем самым ограничивает как прямой ток КЗ, так и обратный. Данное решение было проверено экспериментально.

Для проведения эксперимента использовались источник-измеритель Keithley 2602A (рис. 9) и программное обеспечение LabView, позволяющее управлять источником-измерителем и снимать вольтамперные характеристики. Для автоматизации измерений инженерами АО «ПКК Миландр» был разработан матричный



Рис. 9. Источник-измеритель Keithley 2602A

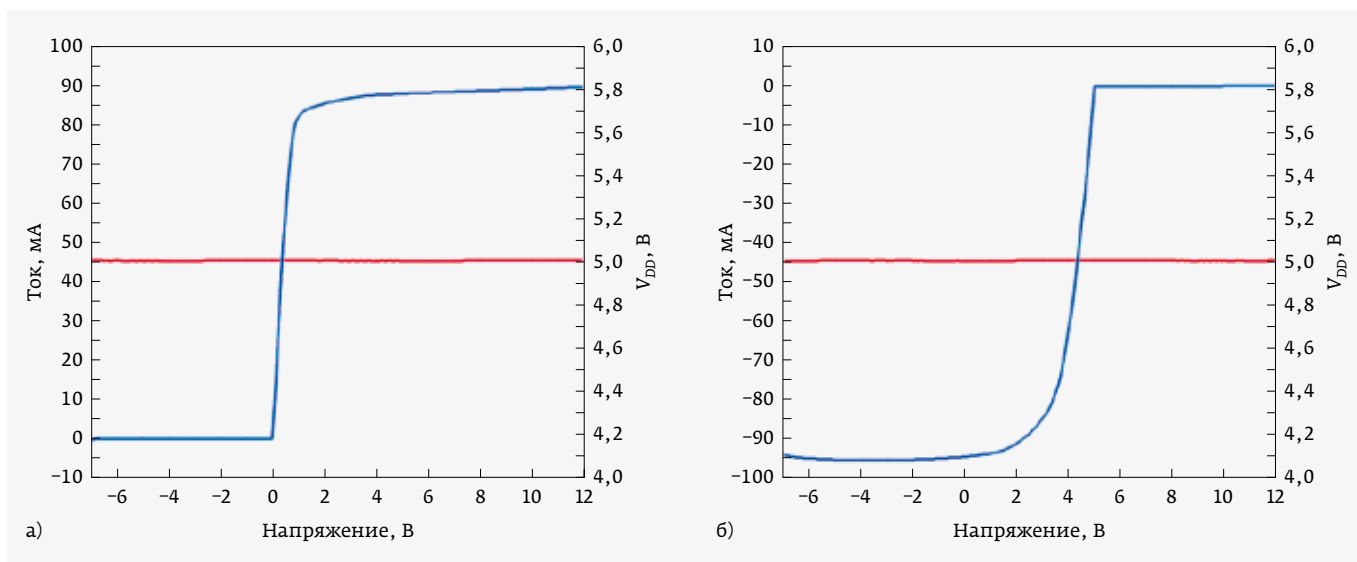


Рис. 10. Вольтамперные характеристики (показаны синим цветом): ток на выходе передатчика в зависимости от напряжения в линии в случае передачи логического нуля (а) и логической единицы (б)

коммутатор 64×8 , который позволяет автоматически коммутировать 64 вывода микросхемы на 8 каналов (к которым можно подключить какое-либо оборудование).

Вольтамперные характеристики, полученные в результате измерений, представлены на рис. 10. Видно, что в худших случаях, при устойчивых потенциалах в линии -7 или 12 В, ток микросхемы ограничен примерно на уровне 90 мА. При этом транзисторы микросхемы не разрушаются.

Если же режим КЗ сохраняется в течение определенного времени (около двух минут), срабатывает следующая функция – термозащита, и схема выключается.

ВСТРОЕННАЯ ТЕРМОЗАЩИТА

Защита от перегрева встроена почти во все зарубежные микросхемы приемопередатчиков RS-485 и является неотъемлемой функциональной частью схемы. При повышенной температуре параметры транзисторов начинают деградировать, а при токе короткого замыкания разогрев неизбежен и важно вовремя перевести микросхему в выключенное состояние.

Ситуацию с перегревом усугубляет и пластиковый корпус, который весьма плохо отводит тепло. Кроме того, топология кристалла прошла серьезную оптимизацию, чтобы разместить максимум функционала на минимальной площади.



Рис. 11. Испытательная камера тепла и холода: а – вид снаружи; б – вид внутри

КОМПЛЕКТ МИКРОСХЕМ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УЧЕТА РЕСУРСОВ ЖКХ

Память FLASH-типа



ПЗУ / 16 Мбит / 65 нс / SPI

K1636PP4FI

Микроконтроллеры



RISC-V / 60 МГц /
ΣΔ АЦП / крипто
K1986BK025

Приемопередатчик интерфейса



RS-485/422 / до 30 Мбит/с

K5559IH86SI

МИЛУР® 307



ARM / 36М Гц / ΣΔ АЦП

K1986BK234



ПЗУ / 64 Мбит / 50 нс / SPI

K1636PP6FI



RISC / 36 МГц / ΣΔ АЦП

K1986BK214



RS-485/422 / до 2.5 Мбит/с

K5559IH10BSI



Рис. 12. Осциллограмма на выходе передатчика (данные с осциллографа Tektronix MDO3104): DI – информационный входной сигнал передатчика, AY, BZ – выходные сигналы передатчика, RO – выходной сигнал приемника

Гарантированный диапазон температур, в котором должна функционировать микросхема: $-40...85^{\circ}\text{C}$. В K5559IH86SI порог срабатывания термодатчика расположен в районе температуры 165°C – при достижении этого значения произойдет выключение микросхемы. Значение 165°C выбрано исходя из того, что при такой температуре кристалл гарантированно не получит повреждений и продолжит функционировать после остывания. Рабочий же диапазон температур в документации приводится относительно температуры окружающей среды.

Проверка работы микросхемы при различных температурах выполнялась при помощи испытательной камеры тепла и холода SU-262 компании ESPEC (рис. 11). Камера позволяет задать температуру от -60 до 150°C . В процессе измерений проверялось, какой запас по температуре есть у кристалла в рабочем режиме.

Ко входу микросхемы подключался генератор и анализировался сигнал на выходе (рис. 12). Результаты измерений показали, что во всем диапазоне температур

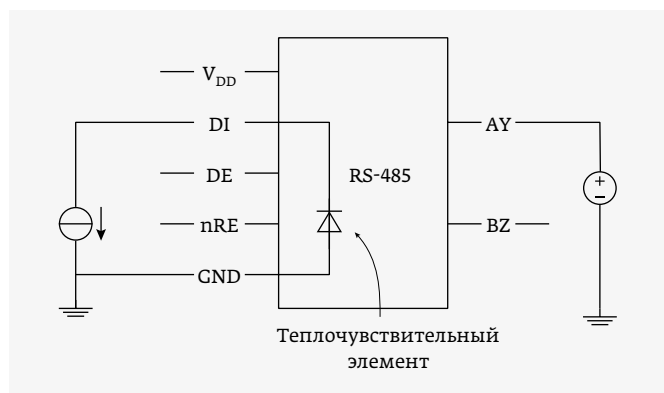


Рис. 13. Тепловоскзвистительный элемент, используемый для определения температуры кристалла

от -60 до 125°C схема функционировала нормально. Однако остается вопрос, каков запас по температуре. Для того чтобы ответить на него, нужно понять какова температура самого кристалла. Для ее измерения был разработан следующий подход.

Практически во всех микросхемах существует ESD-защита (защита от электростатических разрядов). В простейшем случае она представляет собой два диода, используемых в обратном включении (один на «землю», другой на «питание»). Воспользуемся тем, что падение напряжения на диоде (p-n-переходе) зависит от температуры. Используем схему включения, показанную на рис. 13.

Задача стоит следующая: построить зависимость напряжения на диоде от температуры, что поможет вычислить температурный коэффициент. Измерения производились в режиме с выключенной схемой: питание на микросхему не подавалось ($V_{DD}=0$); к цифровому выводу DI подключался источник тока 10 мкА . Это исключает саморазогрев микросхемы, то есть позволяет откалибровать температурную шкалу для данного образца.

В результате измерений (с использованием той же камеры тепла и холода) была получена зависимость, показанная на рис. 14. Значение температурного коэффициента напряжения составило $1,78\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

Откалибровав шкалу, можно перейти к оценке разогрева микросхемы внутри пластикового корпуса в рабочем режиме при штатных нагрузках и в случае короткого замыкания выходных каскадов. Режим измерения следующий:

- напряжения питания (V_{DD}) $5,5\text{ В}$;
- вывод nRE – низкий уровень, вывод DE – высокий уровень;

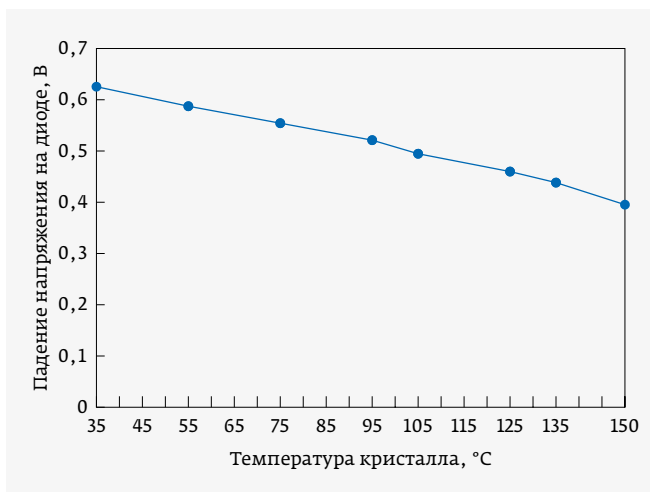


Рис. 14. Зависимость падения напряжения на диоде, используемом для ESD-защиты (подключен к выводу DI), от температуры кристалла

Таблица 2. Сравнение тепловых характеристик микросхем K5559ИН86SI и MAX1478

Температура окружающей среды, °C	Температура кристалла, °C	
	K5559ИН86SI	MAX1478
35	52,21	53,82
85	100,16	108,1
100	126,04	124,24

- тестируемый вывод – DI;
- установленный на источнике ток диода (I_{diode}) – 10 мкА;
- нагрузка – 54 Ом.

Может возникнуть вопрос: почему нельзя было заложить в схему специальный тестовый режим для измерения температуры? Однако именно описанный подход позволил сравнить микросхему K5559ИН86SI с аналогом – микросхемой MAX1478 (которая является для нас «черным ящиком») (табл. 2).

На основе результатов измерений можно сделать два вывода:

- кристалл нагревается в рабочем режиме на 26 °C при температуре внешней среды 100 °C (то есть до порога срабатывания термозащиты (165 °C) еще далеко);

- в режиме короткого замыкания термозащита срабатывает уже при температуре окружающей среды 55 °C, но микросхема не выходит из строя и через некоторое время после того, как она охлаждается – может снова функционировать.

Таким образом, было экспериментально подтверждено, что разработанные схемотехнические решения надежно защищают микросхему от нештатных ситуаций (таких как КЗ или конфликт драйверов) и не оказывают влияния на штатные режимы ее функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. K5559ИН10BSI. – https://ic.milandr.ru/products/mikroskhemy_v_plastikovyykh_korpusakh/k5559in10bu_so_8/
2. K5559ИН86SI. – https://ic.milandr.ru/products/mikroskhemy_v_plastikovyykh_korpusakh/k5559in28asi-okr-interfeys-51-/
3. **Шумилин С.** Микроконтроллер АО «ПКК Миландр» на базе процессорного ядра RISC-V для приборов учета электроэнергии // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 3. С. 92–96.
4. Скоростной АЦП с нуля. 16 бит за 10 лет. – <https://habr.com/ru/company/milandr/blog/530662/>
5. Микросхема приемопередатчика по стандарту RS-485 K5559ИН86SI, K5559ИН86H4. – <https://ic.milandr.ru/upload/iblock/848/%D0%9A5559%D0%98%D0%9D86SI.pdf>

Электроника и микроэлектроника СВЧ

X Всероссийская научно-техническая конференция «ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА СВЧ»

31 мая – 4 июня, 2021

Россия, Санкт-Петербург СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Основные направления работы конференции:

- Физические явления и материалы СВЧ электроники и микроэлектроники
- Пассивные элементы и устройства СВЧ электроники и микроэлектроники
- Приборы твердотельной СВЧ электроники и микроэлектроники
- Приборы вакуумной и плазменной СВЧ электроники и микроэлектроники
- Антенны и фазированные антенные решетки
- Измерения на СВЧ и междисциплинарные исследования
- Радиофотоника