

## Основные особенности

- Напряжения питания 3,3 В ± 10%;
- АЦ-преобразование 8/12 разрядов;
- DNL (типичное) 1,0 МЗР;
- INL (типичное) 2,0 МЗР;
- 18 каналов (5400TP014-040);
- 6 каналов (5400TP015-040);
- 2 режима преобразования:
  - опрос одного канала;
  - перебор каналов.
- Настраиваемый коэффициент усиления (от 1,6 до 160);
- Функция усреднения результата преобразования;
- Функция автокалибровки;
- SPI интерфейс;
- 4-х битный ID микросхемы;
- Режим «shutdown»;
- Технология изготовления КМОП КНИ;
- Температурный диапазон от -60°C до +125°C;
- Стойкость к СВВФ.

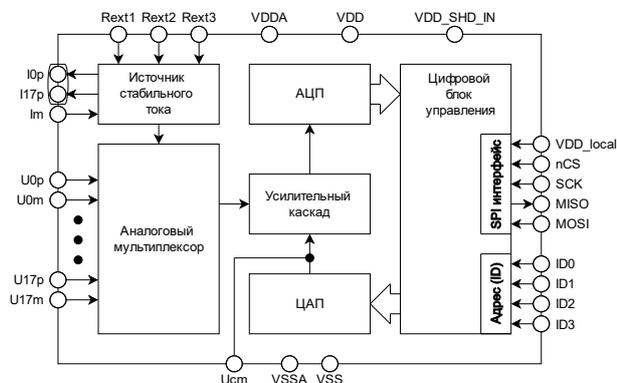


Рисунок 1. Структурная схема 5400TP014-040

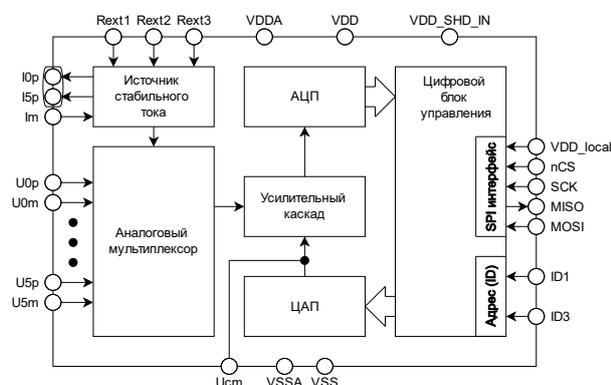


Рисунок 2. Структурная схема 5400TP015-040



Рисунок 3. Внешний вид микросхемы 5400TP014-040



Рисунок 4. Внешний вид микросхемы 5400TP015-040

ГГ – год выпуска НН – неделя выпуска

## Общее описание

Микросхема 5400TP014-040 (5400TP015-040) предназначена для опроса резистивных или диодных термодатчиков по четырёхпроводной схеме. Микросхема выполнена на базе радиационно-стойкого аналого-цифрового БМК 5400TP01 по технологии КНИ.

Основная функция устройства – измерение напряжения на резистивных или диодных датчиках температуры с последующим их усилением и аналого-цифровым преобразованием в 8-ми или 12-ти разрядный цифровой код.

В микросхеме реализован уникальный 4-х битный ID для использования нескольких микросхем с общей шиной управления по SPI интерфейсу.

Для задания общей тактовой частоты в микросхеме реализованы встроенные элементы генераторов: кварцевый генератор (с внешним резонатором) и RC-генератор (с внешней RC цепью).

В микросхеме реализована функция усреднения результата преобразования путем неоднократного запуска АЦП заданное количество раз (16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024).

Возможно отключение питания аналоговой части – режим «shutdown».

Микросхемы 5400TP014-040 и 5400TP015-040 имеют в своей основе один кристалл и отличаются только типом корпуса:

– 5400TP014-040 поставляется в 108-ми выводном металлокерамическом корпусе 4238.108-3;

– 5400TP015-040 поставляется в 48-ми выводном металлокерамическом корпусе 5142.48-A.

## Электрические параметры микросхемы

Таблица 1. Электрические характеристики (температурный диапазон от – 60°C до +125°C)

Параметр, единица измерения	Норма параметра		
	не менее	типовое	не более
Напряжение питания $U_{CC}$ (VDDA, VDD), В	3,0	3,3	3,6
Ток потребления, мА		25	30
Ток потребления в режиме «shutdown», мА			10
Опорное напряжение АЦП (вывод VRP1), В	2,27	2,4	2,53
Напряжение встроенного ИОН (вывод V1V), В	0,95	1,0	1,05
Напряжение нижнего измерительного уровня (вывод Im), В	0,6	0,7	0,8
Разрядность преобразования, бит	8		12
Дифференциальная нелинейность АЦП, МЗР	–0,99 <sup>(2)</sup>		1,0 <sup>(2)</sup>
Интегральная нелинейность АЦП, МЗР	–2,0 <sup>(2)</sup>		2,0 <sup>(2)</sup>
Максимальная частота выборок, кВыб/с при тактовой частоте $F_{CLK}=1$ МГц			3,5
Напряжение высокого уровня входных цифровых сигналов (SEL_MODE, ID0, ID1, ID2, ID3), В	$U_{CC}-0,4$	$U_{CC}$	3,6
Напряжение низкого уровня входных цифровых сигналов (SEL_MODE, ID0, ID1, ID2, ID3), В		0	0,4
Напряжение локального питания SPI интерфейса $U_{CC\_INT}$ (VDD_local) <sup>(1)</sup> , В	4,0	5,0	5,5
Напряжение питания («подтяжки») для выходного сигнала по линии MISO (через резистор) $U_{CC\_MISO}$ , В	1,6	$U_{CC\_INT}$	5,5
Напряжение высокого уровня цифровых сигналов управления (nCS, SCK, MISO, MOSI), В	4,0	$U_{CC\_INT}$	5,5
Напряжение низкого уровня цифровых сигналов управления (nCS, SCK, MISO, MOSI), В		0	0,4
Примечание: 1) Для SPI интерфейса подается отдельное напряжение питания в указанном диапазоне на вывод VDD_local. Так же допускается не подавать напряжение на вывод, оставив его в обрыве, или зашунтировав конденсатором на «землю», если при этом присутствует «подтяжка» резистором вывода MISO к напряжению в указанном для $U_{CC\_INT}$ диапазоне ( $U_{CC\_MISO}$ соответствует диапазону для $U_{CC\_INT}$ ). 2) Справедливо для разрядности 8 бит.			

**Электростатическая защита**

Микросхема имеет встроенную защиту от электростатического разряда до 1000 В по модели человеческого тела. Требуется мер предосторожности.

**Предельно-допустимые и предельные режимы эксплуатации**

Таблица 2. Предельно-допустимые и предельные режимы эксплуатации

Параметр, единица измерения	Предельно-допустимый режим		Предельный режим	
	не менее	не более	не менее	не более
Напряжение аналогового/цифрового питания $U_{CC}$ (VDDA, VDD), В	3,0	3,6	-0,3	3,7
Напряжение питания SPI интерфейса $U_{CC\_INT}$ (VDD_local) <sup>(1)</sup> , В	4,0	5,5	-0,1	5,6
Напряжение питания («подтяжки») для выходного сигнала по линии MISO (через резистор) $U_{CC\_MISO}$ , В	1,6	5,5	-0,1	5,6
Напряжение низкого уровня входных цифровых сигналов (SEL_MODE, ID0, ID1, ID2, ID3), В	0	0,4	-0,3	3,7
Напряжение высокого уровня входных цифровых сигналов (SEL_MODE, ID0, ID1, ID2, ID3), В	$U_{CC}-0,4$	$U_{CC}$	-0,3	3,7
Напряжение низкого уровня входных управляющих цифровых сигналов (nCS, SCK, MISO, MOSI), В	0	0,4	-0,1	5,6
Напряжение высокого уровня входных управляющих цифровых сигналов (nCS, SCK, MISO, MOSI), В	4,0	$U_{CC\_INT}$	-0,1	5,6
Входное напряжение по аналоговым выводам с датчиков ( $U_{0p}$ , $U_{0m}$ , ..., $U_{17p}$ , $U_{17m}$ ) <sup>(2)</sup> , В	0,2	$U_{CC}-1,2$	-0,3	3,7
Входное напряжение по аналоговым выводам с датчиков ( $U_{0p}$ , $U_{0m}$ , ..., $U_{17p}$ , $U_{17m}$ ) <sup>(3)</sup> , В	0,2	$U_{CC}-0,8$	-0,3	3,7
Напряжение смещения ( $U_{cm}$ ), В	0	3,3	-0,3	3,7
Температура эксплуатации, °C	-60	+125	-60	+150
Примечание: 1) Для SPI интерфейса подается отдельное напряжение питания в указанном диапазоне на вывод VDD_local. Так же допускается не подавать напряжение на вывод, оставив его в обрыве, или зашунтировав конденсатором на «землю», если при этом присутствует «подтяжка» резистором вывода MISO к напряжению в указанном для $U_{CC\_INT}$ диапазоне ( $U_{CC\_MISO}$ соответствует диапазону для $U_{CC\_INT}$ ). 2) При задании напряжения с датчиков, опрашиваемых встроенным источником тока с током опроса не более 2,0 мА 3) При задании напряжения с датчиков, опрашиваемых встроенным источником тока с током опроса не более 0,2 мА				

## Конфигурация и функциональное описание выводов

Таблица 3. Функциональное описание выводов микросхемы 5400TP014-040

№ вывода	Наименование вывода	Назначение вывода
1	ID3	Вывод задания адреса микросхемы (бит №3)
2, 3	VDD	Вывод положительного цифрового напряжения питания +3,3 В
4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	I0p, I1p, I2p, I3p, I4p, I5p, I6p, I7p, I8p, I9p, I10p, I11p, I12p, I13p, I14p, I15p, I16p, I17p	Выводы для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) каналов № 0 ... 17
11, 17, 36, 46, 47, 65, 71, 90, 100	VSSA	Вывод отрицательного аналогового напряжения питания или общий
14	VSS	Вывод отрицательного цифрового напряжения питания или общий
25 – 31	Tech	Технологический вывод (подключить к VSSA)
32	VDD_SHD_IN	Вывод положительного аналогового напряжения питания +3,3 В с функцией «shutdown»
33, 41, 48, 49, 86, 87, 95, 103	VDDA	Вывод положительного аналогового напряжения питания +3,3 В без функции «shutdown»
34	CLKout	Выход инвертора для подключения кварцевого резонатора
35	CLKin	Вход инвертора для подключения кварцевого резонатора / вход для подключения внешнего тактового генератора
37	RCGEN	Вывод для подключения внешней RC-цепи
38	CLK_cntrl	Вывод контроля тактовой частоты
39, 98	NC	Вывод не используется (оставить без подключения)
40	VRP2	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод «верхнего» опорного уровня ЦАП)
42, 43, 44, 45, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 70, 69, 73, 72, 75, 74, 77, 76, 79, 78, 81, 80, 83, 82, 92, 91, 94, 93	U17p и U17m, U16p и U16m, U15p и U15m, U14p и U14m, U13p и U13m, U12p и U12m, U11p и U11m, U10p и U10m, U9p и U9m, U8p и U8m, U7p и U7m, U6p и U6m, U5p и U5m, U4p и U4m, U3p и U3m, U2p и U2m, U1p и U1m, U0p и U0m	Выводы для подключения температурного датчика каналов № 0...17 – «верхняя» и «нижняя» точки

№ вывода	Наименование вывода	Назначение вывода
50	Rext1	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №1)
51	Rext2	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №2)
52	Rext3	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №3)
68	V1V	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод ИОН)
84	Im	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («нижняя» точка) всех каналов одновременно
85	CML	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод среднего уровня)
88	Ucm	Вывод для задания напряжения смещения усилительного каскада (выход ЦАП)
89	VRM	Вывод «нижнего» опорного напряжения ЦАП и АЦП (внешнее подключение к VSSA)
96	VRP1	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод «верхнего» опорного уровня АЦП)
97	SEL_MODE	Выбор типа микросхемы (внешнее подключение к VDD)
99	VDD_local	Вывод напряжения питания SPI интерфейса
101	nCS	Вход сигнала разрешения обмена информацией SPI интерфейса (активный уровень – лог. «0»)
102	SCK	Вывод тактовой частоты SPI интерфейса
104	MISO	Выход данных последовательного SPI интерфейса
105	MOSI	Вход данных последовательного SPI интерфейса
106	ID0	Вывод задания адреса микросхемы (бит №0)
107	ID1	Вывод задания адреса микросхемы (бит №1)
108	ID2	Вывод задания адреса микросхемы (бит №2)

Таблица 4. Функциональное описание выводов микросхемы 5400TP015-040

№ вывода	Наименование вывода	Назначение вывода
1	I2p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 2
2	I1p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 1
3	I0p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 0
4	VDD	Вывод положительного цифрового напряжения питания +3,3 В
5	ID3	Вывод задания адреса микросхемы (бит №3)
6	ID1	Вывод задания адреса микросхемы (бит №1)
7	MOSI	Вход данных последовательного SPI интерфейса
8	MISO	Выход данных последовательного SPI интерфейса
9	SCK	Вывод тактовой частоты SPI интерфейса
10	nCS	Вход сигнала разрешения обмена информацией SPI интерфейса (активный уровень – лог. «0»)
11	VDD_local	Вывод напряжения питания SPI интерфейса
12	VRP1	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод «верхнего» опорного уровня АЦП)
13, 35, 37	VSSA	Вывод отрицательного аналогового напряжения питания или общий
14	Ucm	Вывод для задания напряжения смещения усилительного каскада (выход ЦАП)
15, 34	VDDA	Вывод положительного аналогового напряжения питания +3,3 В без функции «shutdown»
16	CML	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод среднего уровня)
17	Im	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («нижняя» точка) всех каналов одновременно
18	U0p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 0 («верхняя» точка)
19	U0m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 0 («нижняя» точка)
20	U1p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 1 («верхняя» точка)
21	U1m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 1 («нижняя» точка)
22	U2p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 2 («верхняя» точка)
23	U2m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 2 («нижняя» точка)
24	V1V	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод ИОН)
25	U3m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 3 («нижняя» точка)

№ вывода	Наименование вывода	Назначение вывода
26	U3p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 3 («верхняя» точка)
27	U4m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 4 («нижняя» точка)
28	U4p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 4 («верхняя» точка)
29	U5m	Вывод для подключения температурного датчика канала № 5 («нижняя» точка)
30	U5p	Вывод для подключения температурного датчика канала № 5 («верхняя» точка)
31	Rext3	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №3)
32	Rext2	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №2)
33	Rext1	Вывод для подключения внешнего токозадающего резистора (ток №1)
36	VRP2	Вывод для подключения шунтирующего конденсатора (вывод «верхнего» опорного уровня ЦАП)
38	CLKin	Вход инвертора для подключения кварцевого резонатора / вход для подключения внешнего тактового генератора
39	CLKout	Выход инвертора для подключения кварцевого резонатора
40	VDD_SHD_IN	Вывод положительного аналогового напряжения питания +3,3 В с функцией «shutdown»
41 – 44	Tech	Технологический вывод (подключить к VSSA)
45	I5p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 5
46	I4p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 4
47	I3p	Вывод для подключения датчика к токозадающей цепи («верхняя» точка) канала № 3
48	VSS	Вывод отрицательного цифрового напряжения питания или общий

## Временные диаграммы

Обращение к микросхеме для записи команды или для чтения результатов происходит с помощью SPI интерфейса с длиной посылки 16 бит.

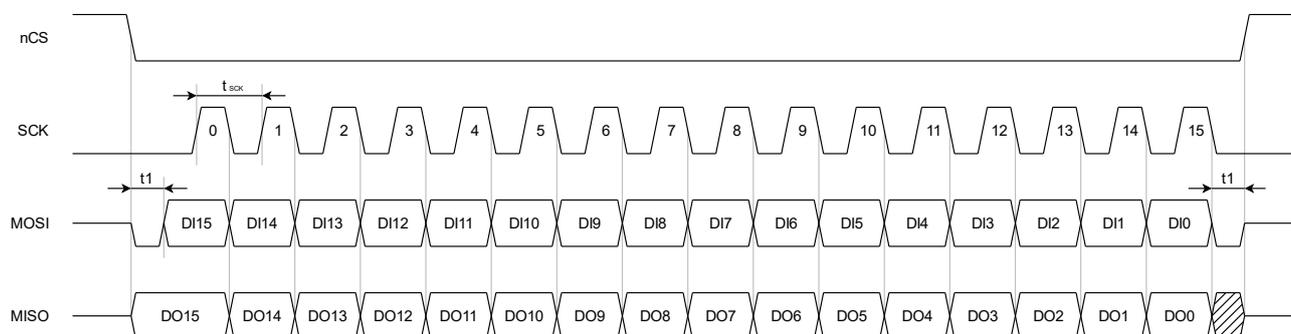


Рисунок 5. Временная диаграмма работы микросхемы

При обращении к микросхеме для записи команды данные в посылке по входу MOSI распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
K1	K0	A3	A2	A1	A0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

K1, K0 – команда (запись регистра управления, запись ЦАП, запись задания на преобразование);

A3... A0 – адрес микросхемы ID<sup>(\*)</sup>;

D9 ... D0 – область передаваемых данных.

Примечание: \* – микросхема выполняет команду только при совпадении адреса, установленного для нее по выводам ID3...ID0, с адресом, передаваемом в посылке. Адрес ID=1111 является зарезервированным (совпадает с отсутствием активности по ответной шине MISO) и запрещен к установке в качестве ID микросхемы. Для микросхемы 5400TP015-040 биты адреса ID2 и ID0 установлены внутри микросхемы в значения лог. «0».

При обращении к микросхеме для чтения результатов, в следующем такте обмена микросхема передаст данные в посылке по выходу MISO следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DO15	DO14	DO13	DO12	DO11	DO10	DO9	DO8	DO7	DO6	DO5	DO4	DO3	DO2	DO1	DO0
Назначение															
A3	A2	A1	A0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

A3... A0 – адрес микросхемы ID<sup>(\*)</sup>;

D11...D0 – область передаваемых данных (результат преобразования АЦП).

Примечание: \* – микросхема в качестве ID передает адрес, установленный для нее по выводам ID. Для исключения ложных трактовок микроконтроллером состояний логической «1» по выводу MISO (например, в отсутствие посылок с результатами преобразования), не разрешается задействовать для микросхемы адрес ID=1111. Для микросхемы 5400TP015-040 биты адреса ID2 и ID0 установлены внутри микросхемы в значения лог. «0».

В процессе функционирования микросхема работает с двумя частотами:

SCK – частота опроса по SPI интерфейсу (присутствует только при логическом «0» по входу nCS);

CLK – общая системная тактовая частота. Общая тактовая частота должна быть не менее, чем в 4 раза больше частоты SCK по SPI шине:  $F_{CLK} \geq 4F_{SCK}$ .

При обращении к микросхеме, в текущем цикле обмена микросхема отвечает на предыдущий запрос, полученный циклом ранее. При этом микросхема отвечает только на запросы чтения результатов (сообщает свой адрес и передает результат).

При обращении с запросом записи информации (запись регистра управления, запись ЦАП, запись задания на преобразование) микросхема не создает ответных пакетов: сигнал на выводе MISO в следующем цикле обмена будет в состоянии логической единицы (1111 1111 1111 1111).

В случае обращения к микросхеме с запросом записи, в котором содержится несуществующий номер канала, либо обращение к микросхеме осуществлено, когда микросхема занята процессом преобразования, либо запрошено избыточное («лишнее») чтение результатов преобразования после режима «Перебор каналов», микросхема в следующем цикла обмена формирует посылку с кодом ошибки.

Чтение результатов АЦП после подачи команды «Перебор каналов» возможно определенное количество раз: 18 для микросхемы 5400TP014-040 и 6 для микросхемы 5400TP015-040. Выдача данных начинается с нулевого канала. Затем, FIFO-память опустошается, и попытка чтения будет возвращать нулевой результат (нули в поле адреса, нули в поле данных).

Чтение результатов АЦП после подачи команды «Опрос одного канала» возможно неограниченное число раз, пока не поступит команда на опрос нового канала, в т.ч. даже с несуществующим номером канала.

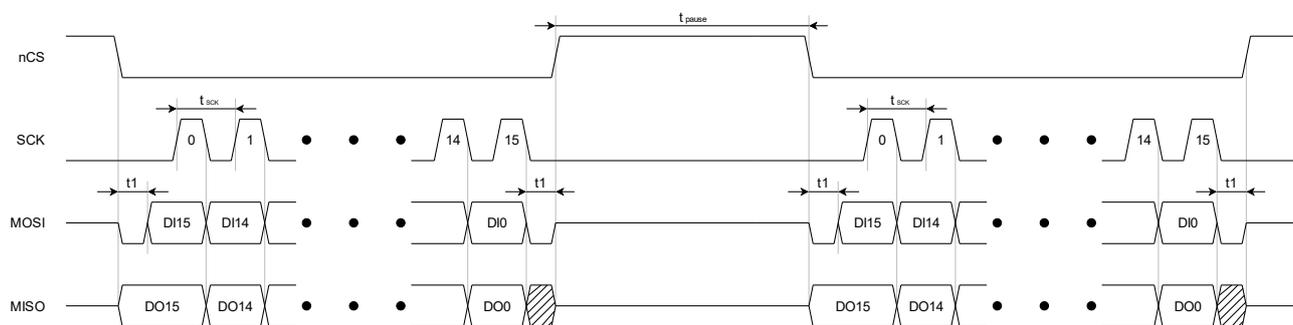


Рисунок 6. Временная диаграмма работы микросхемы

Таблица 5. Справочные данные

Параметр, единица измерения	не менее	типовое	не более
Период тактового сигнала SCK ( $t_{SCK}$ ), нс	1000	4000	
Период тактового сигнала CLK ( $t_{CLK}$ ), нс	250	1000	
Коэффициент заполнения тактового сигнала SCK, CLK, %	40	50	60
Пауза между сигналом nCS и данными по входу MOSI ( $t_1$ ), нс	50		

Минимальная пауза между двумя обращениями к микросхеме ( $t_{\text{pause}}$ ), указанная на рисунке 6 отличается в зависимости от отправляемой команды.

Запись регистра управления, Чтение результатов преобразования

Чтение результатов, запись регистра управления и других установочных данных, не приводящих к запуску АЦП позволяет использовать минимальную паузу между обращениями.

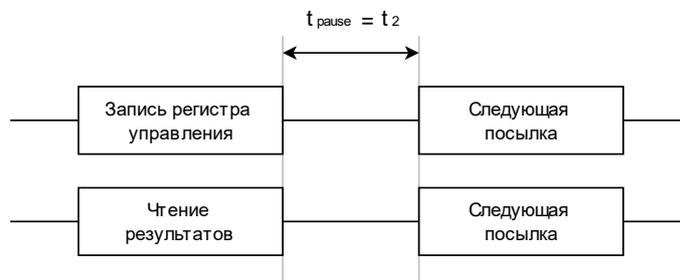


Рисунок 7. Пауза при записи регистра управления или чтении результатов преобразования

Запись задания на преобразование (режим автоматической калибровки центра)

При автоматической калибровке необходимо увеличить паузу между обращениями. N – количество запусков.

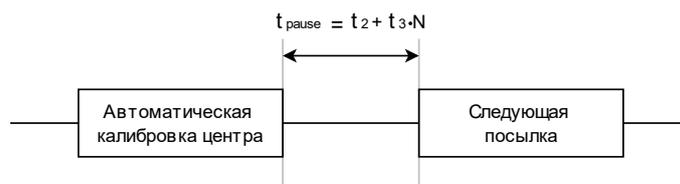


Рисунок 8. Пауза при автоматической калибровке центра

Запись задания на преобразование

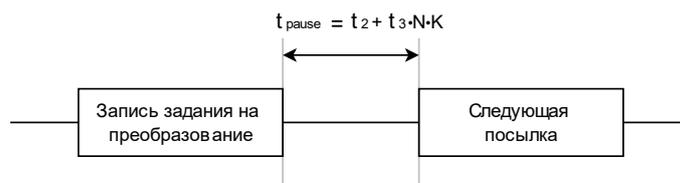


Рисунок 9. Пауза при записи задания на преобразование

Обращение к микросхеме с целью прочесть результат преобразования должно осуществляться после запроса на преобразование через паузу ( $t_{\text{pause}}$ ), где N – число запусков АЦП, K – число опрашиваемых каналов в задании на преобразование. После завершения преобразования пауза между обращениями, например, при чтении, может быть минимальной ( $t_{\text{pause}} = t_2$ ).

Параметры для оценки длительности минимальной паузы между двумя обращениями к микросхеме ( $t_{\text{pause}}$ ):

$t_2$  – не менее  $10 \cdot t_{\text{CLK}}$ ;

$t_3$  – не менее  $152 \cdot t_{\text{CLK}}$ .

### Рекомендуемая схема применения

Таблица 6. Таблица внешних компонентов

Компонент	Номинал
Rt	температурный датчик
R1, R2, R3	выбирается в зависимости от необходимого тока опроса
R4	1 – 5 кОм
R5	1 – 2 МОм
R6	номинал подбирается исходя из требований к частоте и скорости нарастания сигнала MISO; типовое значение – 1 кОм;
C1 – C6, C11	470 нФ – 1 мкФ
C7, C8	16 – 64 пФ
C9, C10	1 мкФ
C12	0,01...0,1 мкФ (допускается не устанавливать)

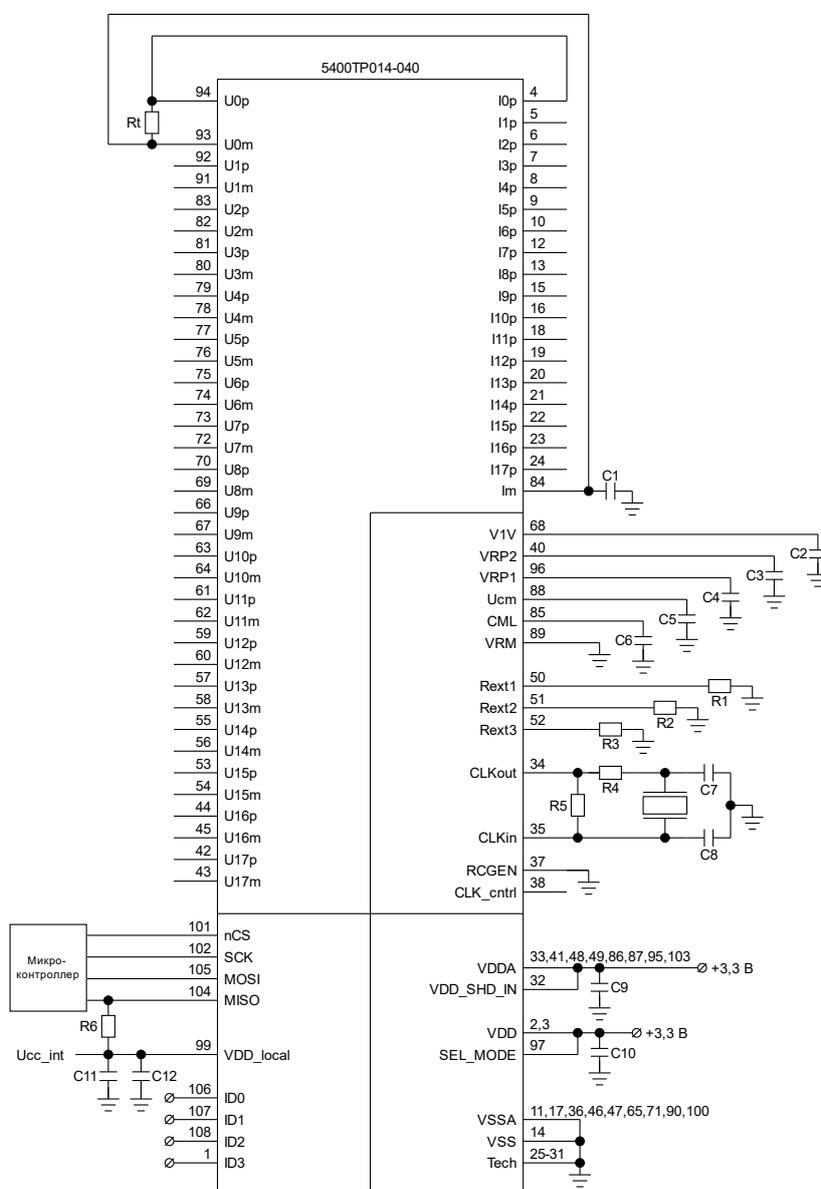


Рисунок 10. Схема применения микросхемы 5400TP014-040 для одного канала на примере тактирования с помощью кварцевого генератора

Таблица 7. Таблица внешних компонентов

Компонент	Номинал
Rt	температурный датчик
R1, R2, R3	выбирается в зависимости от необходимого тока опроса
R4	1 – 5 кОм
R5	1 – 2 МОм
R6	номинал подбирается с целью настройки скорости нарастания сигнала MISO; типовое значение – 1 кОм;
C1 – C6, C11	470 нФ – 1 мкФ
C7, C8	16 – 64 пФ
C9, C10	1 мкФ
C12	0,01 ... 0,1 мкФ (допускается не устанавливать)

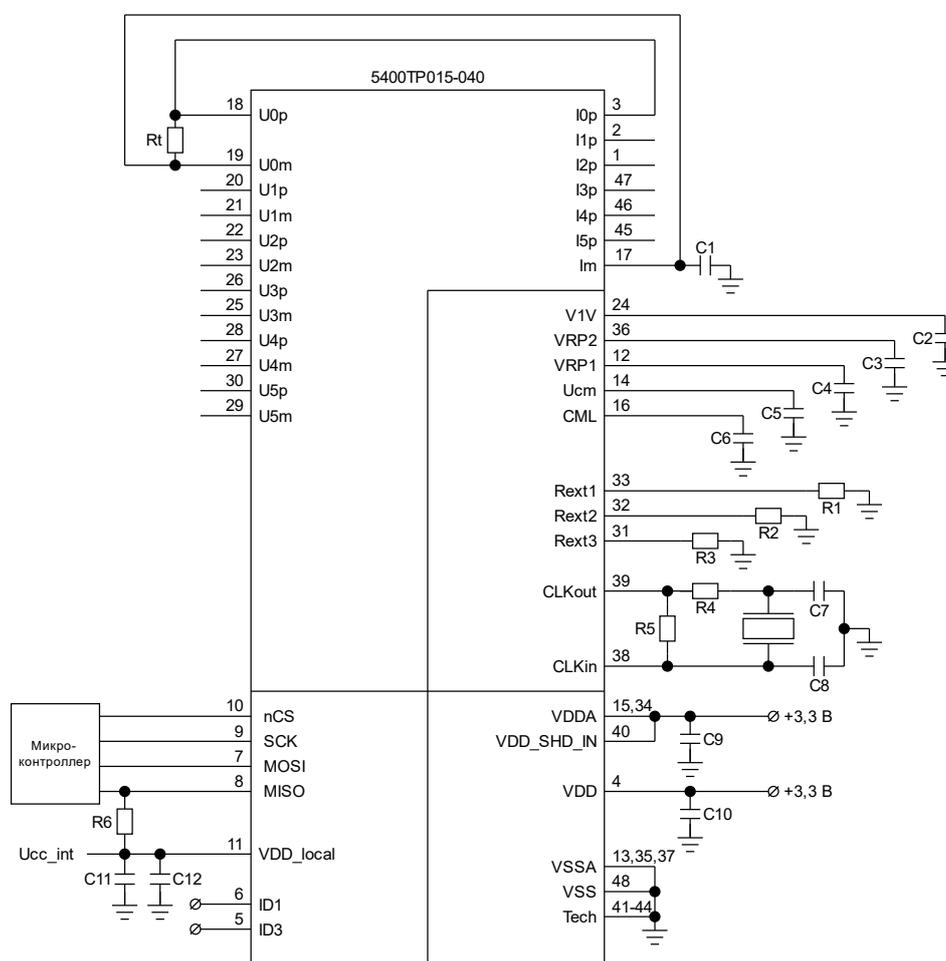


Рисунок 11. Схема применения микросхемы 5400TP015-040 для одного канала на примере тактирования с помощью кварцевого генератора

Примечание:

К резистору R6 обязательно подключение  $U_{CC\_MISO}$  для функционирования выхода MISO. Для SPI интерфейса подается отдельное напряжение питания в указанном диапазоне на вывод VDD\_local. Так же допускается не подавать напряжение на вывод, оставив его в обрыве, или зашунтировав конденсатором на «землю», если при этом присутствует «подтяжка» резистором вывода MISO к напряжению в указанном для  $U_{CC\_INT}$  диапазоне ( $U_{CC\_MISO}$  соответствует диапазону для  $U_{CC\_INT}$ ).

Напряжение питания микросхемы +3,3 В. В микросхеме реализована функция отключения питания аналоговой части («shutdown»).

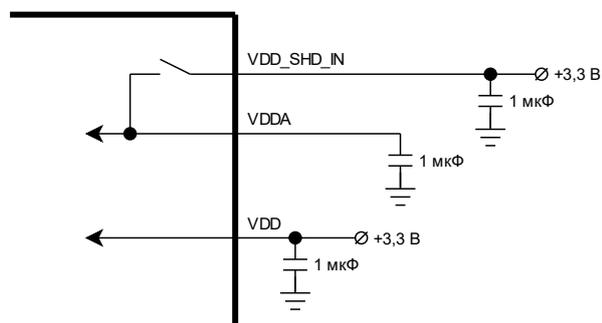


Рисунок 12. Питание микросхемы с функцией «shutdown»

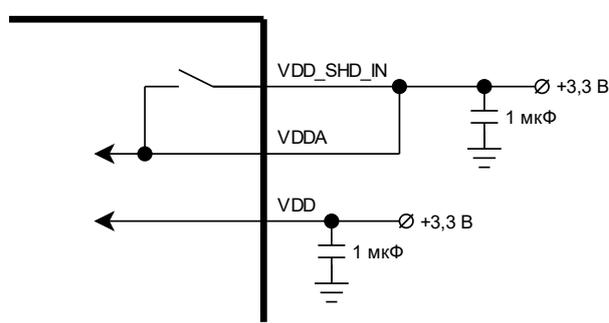


Рисунок 13. Питание микросхемы без функции «shutdown»

Для микросхемы 5400TP014-040 возможны 2 варианта тактирования: кварцевый генератор, RC-генератор.

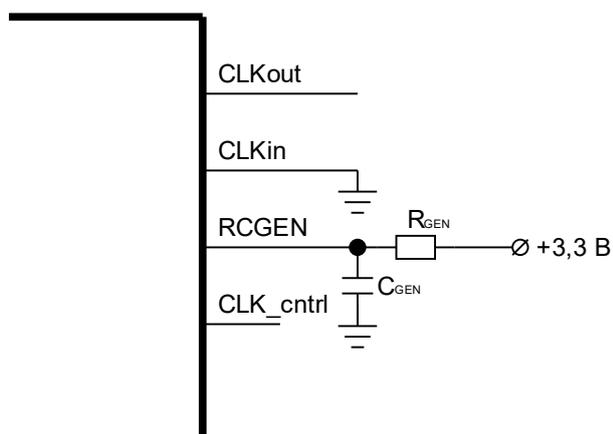


Рисунок 14. Тактирование микросхемы с помощью RC-генератора

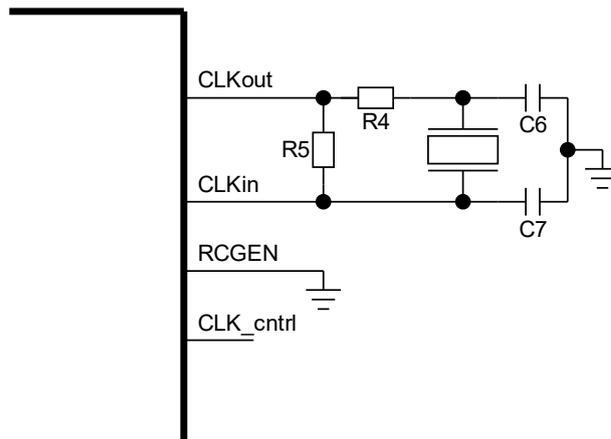


Рисунок 15. Тактирование микросхемы с помощью кварцевого генератора

Формула для подбора компонентов RC-генератора:  $F_{CLK} \approx 0,7 / (R_{GEN} * C_{GEN})$ , данная формула справедлива для  $F_{CLK} < 1,0$  МГц и рекомендованных номиналов  $R_{GEN}$  и  $C_{GEN}$ .

Рекомендуемый номинал конденсатора  $C_{GEN} = 0,05 \dots 0,3$  нФ.

Рекомендуемый номинал резистора  $R_{GEN} = 10 \dots 200$  кОм.

## Описание функционирования микросхемы

Микросхемы 5400TP014-040 и 5400TP015-040 предназначены для предварительной обработки и аналого-цифрового преобразования сигналов с датчиков температуры. Микросхемы обеспечивают работу одновременно с 18-ю (5400TP014-040) или с 6-ю (5400TP015-040) датчиками.

Измерение температуры осуществляется по четырехпроводной схеме: ток, сформированный в микросхеме, подается на датчик, подключенный к измеряемому каналу, а напряжение с датчика подается через мультиплексор на вход усилительного каскада перед АЦП.

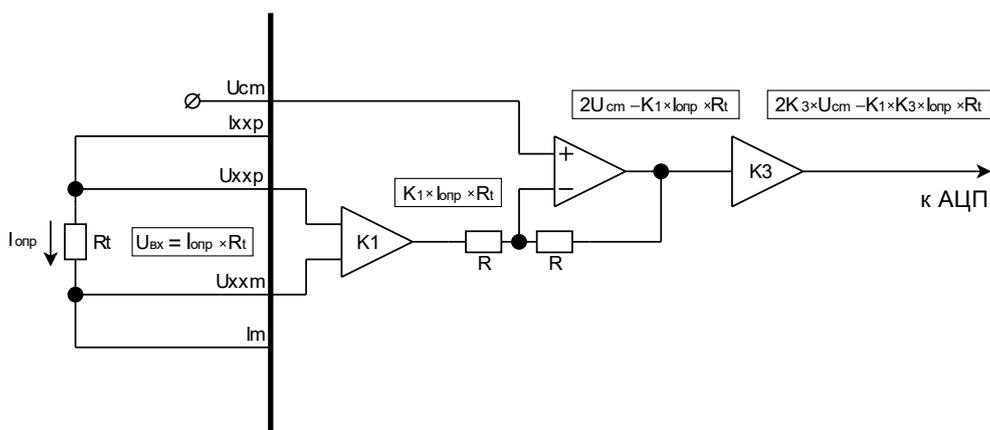


Рисунок 16. Четырехпроводная схема измерения температуры

Общее выражение для определения входного напряжения АЦП (выходного напряжения усилительного каскада) имеет вид:

$$U_{\text{вх\_АЦП}} = K_3 \cdot (2 \cdot U_{\text{см}} - K_1 \cdot U_{\text{вх}}) = 2 \cdot K_3 \cdot U_{\text{см}} - K_1 \cdot K_3 \cdot I_{\text{опр}} \cdot R_t$$

$I_{\text{опр}}$  – ток опроса;

Ток опроса термодатчиков ( $I_{\text{опр}}$ ) формируется с помощью встроенного преобразователя напряжение-ток от внешнего резистора  $R$  (выводы  $R_{\text{ext1}}$ ,  $R_{\text{ext2}}$ ,  $R_{\text{ext3}}$ ) из расчета  $I_{\text{опр}} = U_{V1V}/R$ . Преобразователь напряжение-ток рассчитан на работу в диапазоне тока 0,01 ... 2,0 мА.

$U_{\text{вх}} = I_{\text{опр}} \cdot R_t$  – падение напряжения на датчике, т.е. входной сигнал микросхемы;

$K_1$ ,  $K_3$  – коэффициенты усилительного каскада, задаваемые через интерфейс;

$U_{\text{см}}$  – напряжение смещения для подстройки передаточной характеристики.

В АЦП входное напряжение преобразуется в цифровой код. Результат преобразования поступает в цифровой блок управления для хранения или обработки (в случае усреднения по нескольким преобразованиям). При чтении результат преобразования передается внешнему устройству (в виде побитово инвертированного цифрового кода).

**Выбор способа формирования напряжения смещения**

В микросхеме реализована подстройка смещения как от внутреннего ЦАП, так и от внешнего сигнала. По умолчанию, при включении микросхемы устанавливается формирование  $U_{см}$  от внешнего сигнала. Для выбора управления смещением необходимо подать на микросхему посылку, в которой биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
1	1	A3	A2	A1	A0	1	1	D7	X	X	X	X	X	X	X

Бит **D7** отвечает за выбор подстройки смещения:

**1** – формирование  $U_{см}$  от внутреннего ЦАП;

**0** – формирование  $U_{см}$  от внешнего сигнала (вывод микросхемы  $U_{см}$ ).

Микросхема поддерживает 4 режима работы: запись регистра управления; запись ЦАП; запись задания на преобразование; чтение результатов преобразования.

**Запись регистра управления**

При подаче команды «Запись регистра управления» во входной посылке биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
0	0	A3	A2	A1	A0	N2	N1	N0	M2	M1	M0	L1	L0	SR1	SR0

Выбор набора коэффициентов усиления ( $K_1$ ,  $K_3$ ) и тока опроса ( $I_{опр}$ ) осуществляется с помощью сигналов **N**, **M**, **L**, **SR**.

Выбор подключаемого токозадающего резистора ( $R_{ext1}$ ,  $R_{ext2}$ ,  $R_{ext3}$ ) осуществляется комбинацией сигналов **SR1** и **SR0**.

SR1	SR0	Токозадающий резистор
0	0	–
0	1	$R_{ext1}$
1	0	$R_{ext2}$
1	1	$R_{ext3}$

Выбор коэффициента усиления K1 в усилительном каскаде для первого усилителя осуществляется комбинацией сигналов N и M.

M2,M1,M0 N2,N1,N0	000	001	010	011	100	101	110	111
000	2,50	2,00	1,83	1,75	1,70	1,67	1,64	1,63
001	5,00	4,00	3,67	3,50	3,40	3,33	3,29	3,25
010	7,50	6,00	5,50	5,25	5,10	5,00	4,93	4,88
011	10,00	8,00	7,33	7,00	6,80	6,67	6,57	6,50
100	12,50	10,00	9,17	8,75	8,50	8,33	8,21	8,13
101	15,00	12,00	11,00	10,50	10,20	10,00	9,86	9,75
110	17,50	14,00	12,83	12,25	11,90	11,67	11,50	11,38
111	20,00	16,00	14,67	14,00	13,60	13,33	13,14	13,00

Выбор коэффициента усиления K3 в усилительном каскаде для выходного усилителя осуществляется комбинацией сигналов L.

L1	L0	Коэффициент усиления K3
0	0	1
0	1	2
1	0	4
1	1	8

Таким образом, возможны следующие варианты суммарного коэффициента усиления K1 x K3

L	M		000	001	010	011	100	101	110	111
	N									
00		000	2,50	2,00	1,83	1,75	1,70	1,67	1,64	1,63
		001	5,00	4,00	3,67	3,50	3,40	3,33	3,29	3,25
		010	7,50	6,00	5,50	5,25	5,10	5,00	4,93	4,88
		011	10,00	8,00	7,33	7,00	6,80	6,67	6,57	6,50
		100	12,50	10,00	9,17	8,75	8,50	8,33	8,21	8,13
		101	15,00	12,00	11,00	10,50	10,20	10,00	9,86	9,75
		110	17,50	14,00	12,83	12,25	11,90	11,67	11,50	11,38
		111	20,00	16,00	14,67	14,00	13,60	13,33	13,14	13,00
01		000	5,00	4,00	3,67	3,50	3,40	3,33	3,29	3,25
		001	10,00	8,00	7,33	7,00	6,80	6,67	6,57	6,50
		010	15,00	12,00	11,00	10,50	10,20	10,00	9,86	9,75
		011	20,00	16,00	14,67	14,00	13,60	13,33	13,14	13,00
		100	25,00	20,00	18,33	17,50	17,00	16,67	16,43	16,25
		101	30,00	24,00	22,00	21,00	20,40	20,00	19,71	19,50
		110	35,00	28,00	25,67	24,50	23,80	23,33	23,00	22,75
		111	40,00	32,00	29,33	28,00	27,20	26,67	26,29	26,00
10		000	10,00	8,00	7,33	7,00	6,80	6,67	6,57	6,50
		001	20,00	16,00	14,67	14,00	13,60	13,33	13,14	13,00
		010	30,00	24,00	22,00	21,00	20,40	20,00	19,71	19,50
		011	40,00	32,00	29,33	28,00	27,20	26,67	26,29	26,00
		100	50,00	40,00	36,67	35,00	34,00	33,33	32,86	32,50
		101	60,00	48,00	44,00	42,00	40,80	40,00	39,43	39,00
		110	70,00	56,00	51,33	49,00	47,60	46,67	46,00	45,50
		111	80,00	64,00	58,67	56,00	54,40	53,33	52,57	52,00
11		000	20,00	16,00	14,67	14,00	13,60	13,33	13,14	13,00
		001	40,00	32,00	29,33	28,00	27,20	26,67	26,29	26,00
		010	60,00	48,00	44,00	42,00	40,80	40,00	39,43	39,00
		011	80,00	64,00	58,67	56,00	54,40	53,33	52,57	52,00
		100	100,00	80,00	73,33	70,00	68,00	66,67	65,71	65,00
		101	120,00	96,00	88,00	84,00	81,60	80,00	78,86	78,00
		110	140,00	112,00	102,67	98,00	95,20	93,33	92,00	91,00
		111	160,00	128,00	117,33	112,00	108,80	106,67	105,14	104,00

**Запись ЦАП**

При подаче команды «Запись ЦАП» во входной посылке биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
0	1	A3	A2	A1	A0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2

Полученный 10-битный код D11:D2 умножается на 4 (дополняется двумя нулями справа) и полученный результат поступает на вход ЦАП. На выводе U<sub>см</sub> устанавливается новое значение напряжения в соответствии с входным кодом. Обновление ЦАП и значения напряжения U<sub>см</sub> также возможно осуществлять автоматически в режиме калибровки микросхемы.

**Запись задания на преобразование**

При подаче команды «Запись задания на преобразование» во входной посылке биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
1	0	A3	A2	A1	A0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Команда поддерживает 3 режима работы:

- запуск канала на преобразование;
- автоматическая калибровка центра;
- режим «shutdown».

*Запуск канала на преобразование* осуществляется комбинацией сигналов **D9 = 0, D8 = 0**.

Выбор числа запусков АЦП для усреднения результатов преобразования осуществляется комбинацией сигналов D7...D5.

D7	D6	D5	Количество запусков АЦП
0	0	0	1
0	0	1	16
0	1	0	32
0	1	1	64
1	0	0	128
1	0	1	256
1	1	0	512
1	1	1	1024

Выбор номера канала для преобразования осуществляется комбинацией сигналов D4...D0.

D4	D3	D2	D1	D0	Номер канала
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	2
0	0	0	1	1	3
0	0	1	0	0	4
0	0	1	0	1	5
0	0	1	1	0	6
0	0	1	1	1	7
0	1	0	0	0	8
0	1	0	0	1	9
0	1	0	1	0	10
0	1	0	1	1	11
0	1	1	0	0	12
0	1	1	0	1	13
0	1	1	1	0	14
0	1	1	1	1	15
1	0	0	0	0	16
1	0	0	0	1	17
1	1	1	1	1	перебор каналов

После окончания посылки записи номера канала автоматически выбирается соответствующий канал, выдерживается пауза (100 периодов тактового сигнала CLK) и запускается АЦП. Результат преобразования записывается в регистр.

Если в задании на преобразование указано число запусков больше 1, то АЦП запускается указанное количество раз, результат каждый раз суммируется с предыдущими (накапливается), по окончании делится на число запусков, и затем уже записывается в регистр.

При переборе каналов переключения от канала к каналу осуществляется автоматически: от 0 до 17 для микросхемы 5400TP014-040; от 0 до 5 для микросхемы 5400TP015-040. После получения результата для текущего канала, результат преобразования помещается в FIFO-память, и начинается преобразование следующего канала. После подачи такой команды и завершения процедуры преобразования, чтение результатов можно произвести 18 или 6 считываний подряд (в зависимости от типа микросхемы).

Автоматическая калибровка центра осуществляется комбинацией сигналов  $D9 = 0, D8 = 1$ .

Выбор числа запусков АЦП для усреднения результатов преобразования и выбор номера канала осуществляется комбинацией сигналов  $D7...D0$  аналогично режиму «Запуск канала на преобразование».

После получения команды микросхема автоматически выполняет следующий алгоритм:

- 1) Вычисление разницы между полученным значением АЦП и серединой диапазона:

$$\Delta\text{код} = (\text{код} - 2048) \text{ с учетом знака.}$$

- 2) Вычисление нового значения кода КОД<sub>ЦАП\*</sub>:

$$\text{КОД}_{\text{ЦАП}^*} = \text{КОД}_{\text{ЦАП}} (\text{текущий}) + \Delta\text{код} / 2^*K3$$

$K3$  – коэффициент усиления, загруженный в регистр управления

- 3) Загрузка нового кода в ЦАП.

#### Важно:

Для осуществления калибровки центра микросхеме необходимо передать следующую последовательность команд:



Рисунок 17. Последовательность команд для калибровки центра  
(где  $N$  – количество пусков,  $K$  – номер канала,  $M$  – количество команд для калибровки).

Команда на запуск преобразования в конце калибровки может содержать произвольный номер канала, не обязательно калибровочный. После данной команды информация также может быть прочитана.

После подачи  $M$ -команд для автоматической калибровки обязательно подаются команды на запуск преобразования. При этом запрещено при подаче команды на запуск преобразования в качестве номера канала указывать «перебор каналов». Это может привести к некорректной калибровке.

В ходе выполнения автоматической калибровки при вычислениях разницы между полученным значением АЦП и серединой шкалы, максимально возможное значение не превышает 2048. При вычислении поправки кода ЦАП, данная разница делится на  $2^*K3$ , то есть на 2, 4, 8 или 16. Таким образом, в зависимости от выбранного коэффициента максимально возможный шаг поправки кода ЦАП за один запуск автоматической калибровки составит 128, 256, 512 или 1024 МЗР.

В случае необходимости в ходе работы микросхемы перенастроить коэффициенты усиления или диапазоны работы с одних значений на другие, сильно отличающиеся, или в случае изначально большого смещения в системе, может потребоваться изменение напряжения на выходе ЦАП на величину, большую, чем максимально возможный шаг поправки за один запуск калибровки (при выбранном коэффициенте усиления). Для этого процедуру автоматической калибровки нужно запустить несколько раз подряд: при каждой последующей запуске выходное значение ЦАП будет стремиться к требуемому сначала с максимально возможным шагом поправки, а затем с достаточным, пока система не откалибруется. Максимально возможное количество таких запусков, которое может потребоваться (для случая, когда ЦАП должен поменять выход с одного крайнего значения на другое крайнее) – не более  $M=(4^*K3+1)$  раз.

Режим *shutdown* осуществляется комбинацией сигналов **D9 = 1, D8 = 0**.

При получении команды другие данные D7...D0 не анализируются, происходит включение режима «shutdown» (отключается питание аналоговой части микросхемы, запрет на функционирование).

В дальнейшем при получении другой команды «Запись задания на преобразование» происходит выход из режима «shutdown».

При **записи задания на преобразование** комбинация сигналов **D9 = 1, D8 = 1** является служебной (зарезервированной) и **запрещена к подаче** (приведет к изменению текущей настроенной калибровки центра).

### Чтение результатов преобразования

При подаче команды «Чтение результатов преобразования» во входной посылке биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DI15	DI14	DI13	DI12	DI11	DI10	DI9	DI8	DI7	DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
Назначение															
1	1	A3	A2	A1	A0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X

Микросхема после получения команды готовит к передаче в следующем цикле обмена результаты преобразования АЦП в виде значения адреса микросхемы и 12-разрядного кода АЦП, которые распределены в выходной посылке следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DO15	DO14	DO13	DO12	DO11	DO10	DO9	DO8	DO7	DO6	DO5	DO4	DO3	DO2	DO1	DO0
Назначение															
A3	A2	A1	A0	ADC 11	ADC 10	ADC 9	ADC 8	ADC 7	ADC 6	ADC 5	ADC 4	ADC 3	ADC 2	ADC 1	ADC 0

Примечание:

– если запросу на чтение предшествовала команда «Перебор каналов», то при чтении будет происходить выгрузка данных из FIFO-памяти. При этом, возможно либо 18 чтений для 5400TP014-040, либо 6 чтений для 5400TP015-040. Выдача данных начинается с нулевого канала. Затем, FIFO-память опустошается, и попытка чтения будет возвращать нулевой результат (нули в поле адреса, нули в поле данных). По этой причине также не рекомендуется для микросхемы использовать адрес ID «0000».

– если запросу на чтение предшествовала команда «Опрос конкретного канала», то при чтении будет происходить выгрузка данных из регистра, в который записан результат предшествующего запуска АЦП. В этом случае считывать результат можно неограниченное число чтений до тех пор, пока новым заданием на преобразование регистр не обновится.

**Сообщения об ошибках**

При обращении к микросхеме выполняется проверка корректности длины посылки и совпадения адреса, передаваемого в информационной посылке, с адресом, установленным для микросхемы.

В случаях некорректной длины посылки (не соответствует 16 битам) или несовпадения адреса, посылка игнорируется, но при этом ответное сообщение при следующем обмене будет пустым, т.е. выход MISO будет «подтянут» к лог. «1» внешним резистором (1111 1111 1111 1111). Микросхема воспринимает такое сообщение, как обращение не к ней (обращение по другому адресу), и не отправляет в линию никаких сообщений. Микросхема формирует посылку только при совпадении адреса.

В случае, когда посылка корректна и адрес совпадает, но обращение к микросхеме осуществлено, когда микросхема занята процессом преобразования, либо запрошено избыточное («лишнее») чтение результатов преобразования после режима «Перебор каналов», либо поступил запрос на преобразование, но указан несуществующий номер канала, то микросхема для следующего цикла обмена формирует ответную посылку с кодом ошибки.

В случае ошибки в выходной посылке биты распределены следующим образом:

Биты в порядке следования															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение на диаграмме															
DO15	DO14	DO13	DO12	DO11	DO10	DO9	DO8	DO7	DO6	DO5	DO4	DO3	DO2	DO1	DO0
Назначение															
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	err2	err1	err0

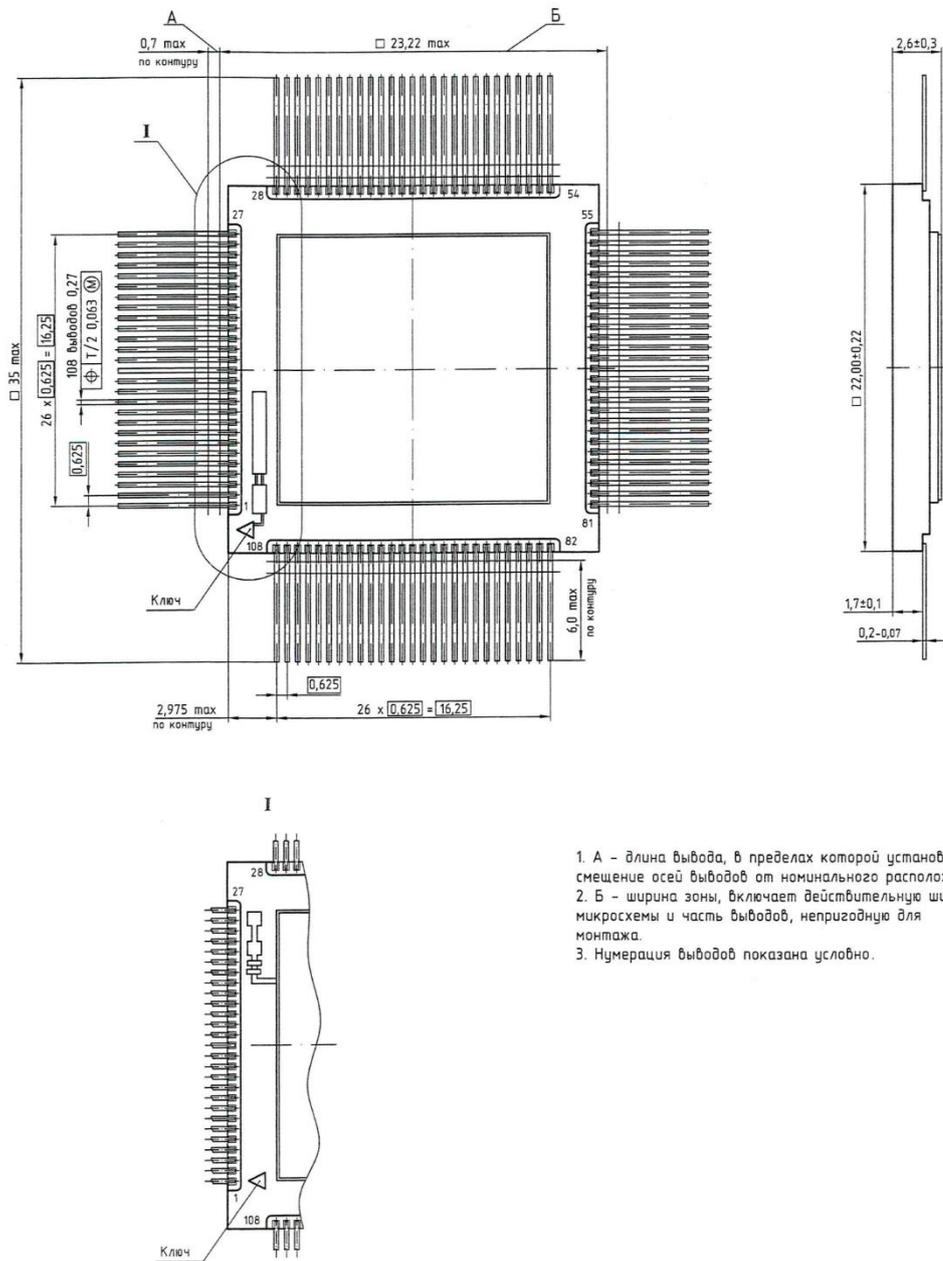
В битах **err2**, **err1**, **err0** закодированы следующие ошибки:

**110** – произошло обращение к микросхеме, но микросхема занята процессом преобразования.

**101** – запрошено избыточное чтение результатов преобразования после режима «Перебор каналов» и FIFO-память пуста.

**011** – поступил запрос на преобразование, но указан несуществующий номер канала.

Габаритный чертеж



1. А - длина вывода, в пределах которой установлено смещение осей выводов от номинального расположения.
2. Б - ширина зоны, включает действительную ширину микросхемы и часть выводов, непригодную для монтажа.
3. Нумерация выводов показана условно.

Рисунок 18. Габаритный чертеж корпуса 4238.108-3 (размеры в мм)

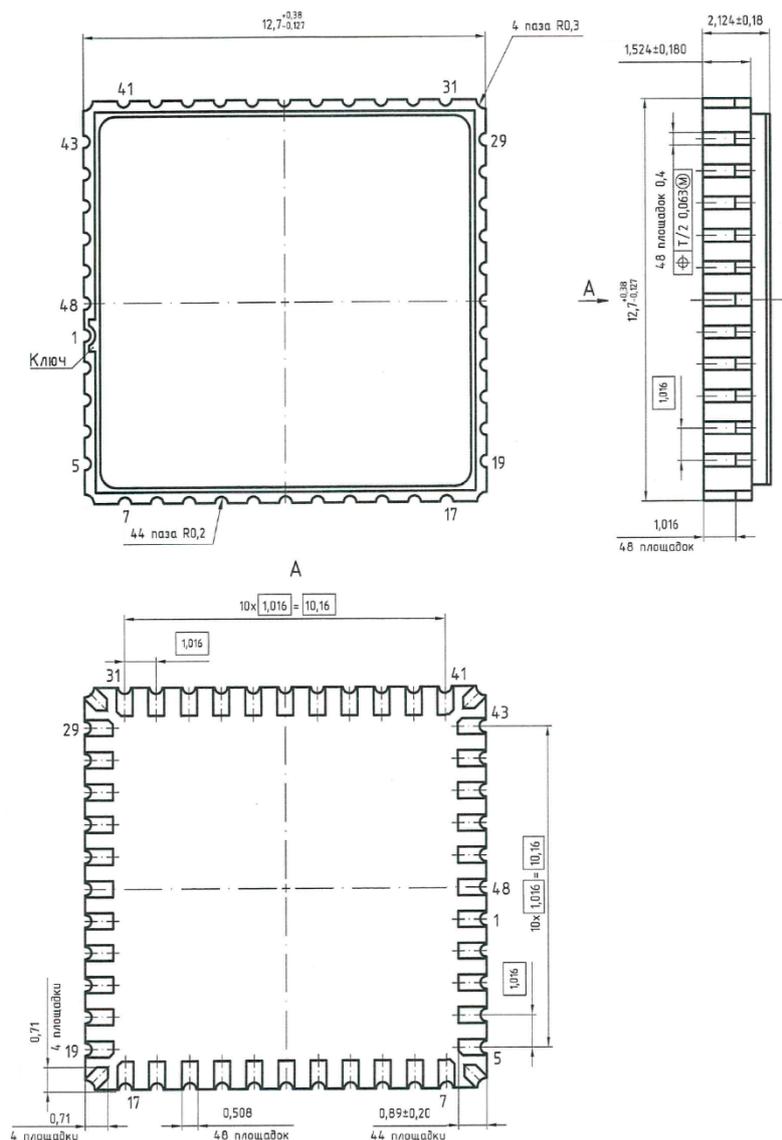


Рисунок 19. Габаритный чертеж корпуса 5142.48-A (размеры в мм)

### Информация для заказа

Обозначение	Маркировка	Корпус	Температурный диапазон
5400TP014-040 АЕНВ.431260.056ТУ карта заказа КФЦС.431260.056-040Д16	5400TP014-040	4238.108-3	- 60°C ...+125°C
5400TP015-040 АЕНВ.431260.056ТУ карта заказа КФЦС.431260.056-040.02Д16	5400TP015-040	5142.48-A	- 60°C ...+125°C

Микросхемы категории качества «ВП» маркируются ромбом.

## Лист регистрации изменений

Дата	Версия	Изменения
23.06.2020	1.0	Исходная версия
04.03.2021	1.1	Обновлен пункт «Основные особенности». Обновлен пункт «Блок-схема»: – обновлен рисунок 1; – добавлен рисунок 2. Обновлен пункт «Электрические параметры микросхемы»: – обновлена таблица 1. Обновлен пункт «Предельно-допустимые и предельные режимы эксплуатации»: – обновлена таблица 2. Обновлен пункт «Конфигурация и функциональное описание выводов»: – обновлены таблицы 3-4. Обновлен пункт «Временные диаграммы»: – обновлен рисунок 5; – добавлен рисунок 6; – обновлена таблица 5. Обновлен пункт «Рекомендуемая схема применения»: – обновлен рисунок 7; – добавлен рисунок 8; – изменены рисунки 9-12. Обновлен пункт «Описание функционирования микросхемы».
25.03.2021	1.2	Обновлен пункт «Электрические параметры микросхемы»: – обновлена таблица 1. Обновлен пункт «Предельно-допустимые и предельные режимы эксплуатации»: – обновлена таблица 2. Обновлен пункт «Временные диаграммы»: – обновлена таблица 5. Обновлен пункт «Рекомендуемая схема применения»: – обновлены таблицы 6, 7; – обновлены рисунки 7,8; – обновлены рисунки 9, 10. Обновлен пункт «Описание функционирования микросхемы».
28.06.2021	1.3	Обновлен пункт «Электрические параметры микросхемы»: – обновлена таблица 1. Обновлен пункт «Предельно-допустимые и предельные режимы эксплуатации»: – обновлена таблица 2. Обновлен пункт «Временные диаграммы»: – обновлен рисунок 6. – обновлена таблица 5. Обновлен пункт «Рекомендуемая схема применения»: – обновлены рисунки 9-12. Обновлен пункт «Описание функционирования микросхемы»: – добавлен рисунок 14.

Дата	Версия	Изменения
25.05.2022	1.4	Обновлен пункт «Временные диаграммы». Добавлено описание паузы между двумя обращениями: – добавлены рисунки 7–9. Обновлен пункт «Описание функционирования микросхемы»: – обновлен рисунок 16.