

Применение отечественного микроконтроллера 5400TP105-003 для создания интеллектуальных датчиков

Всеволод ЭННС
Сергей МАЗЕИН
Игорь КОРЕПАНОВ
Дмитрий КОЛЕСНИКОВ
mail@dcsoyuz.ru

Микроконтроллер 5400TP105-003 разработан компанией «Дизайн Центр «Союз» на основе аналого-цифрового базового матричного кристалла (АЦ БМК) 5400TP105. Упрощенно базовые матричные кристаллы представляют собой фиксированный набор готовых сложно-функциональных блоков, объединение которых происходит на завершающем этапе производства пластин слоями металлизации. Особенностью АЦ БМК 5400TP105 является наличие встроенного микроконтроллерного ядра архитектуры 8051, блоков ОЗУ и ПЗУ, а также аналоговых и аналого-цифровых блоков — АЦП, ЦАП, ИОН, линейных регуляторов напряжения и других.

Микросхема 5400TP105-003 изготавливается по технологическому процессу компании «Микрон» и соответствует критериям «Интегральная схема первого уровня» согласно

719-му Постановлению Правительства РФ от 17.07.2015 (разработка структуры, электрической схемы, топологии, программного обеспечения, изготовление пластин с кристаллами и их измерение, сборка кристаллов в корпуса, измерение и испытание интегральной схемы осуществляется на территории Российской Федерации). Микросхема обладает высокими показателями надежности, стойкости к внешним факторам и может быть применена в том числе при разработке специальной аппаратуры. Структурная схема микроконтроллера 5400TP105-003 представлена на рис. 1.

Особенности микроконтроллера:

- напряжение электропитания: 5 В $\pm$ 10%, 7–15 В (при использовании встроенного регулятора напряжения);
- напряжение питания портов ввода/вывода: 1,8–5 В;
- динамический ток потребления: не более 10 мА (на частоте 8 МГц);
- температура эксплуатации: –60...+125 °С;
- 48-выводной металлокерамический корпус 5142.48-A (ведется работа по освоению микросхемы в пластиковом корпусе QFN48) (рис. 2).

Вычислительное ядро:

- система команд 8051, тактовая частота: до 8 МГц;
- машинный цикл: 1 такт;
- возможность выбора источника тактирования (кварцевый генератор, RC-генератор, внешний источник);
- настраиваемые прерывания по внешним событиям;
- разработка программ в среде проектирования Keil uVision.

Память:

- внутренняя память программ: 4 кбайт ОППЗУ (на ячейках antifuse), 4 кбайт ОЗУ для отладки;
- память данных: 256 байт ОЗУ;
- работа только с внутренней памятью программ.

Встроенные периферийные модули:

- два интерфейса SPI;
- интерфейс I²C;
- интерфейс JTAG;
- два модуля интерфейса UART с настраиваемой скоростью передачи;
- 24 универсальные линии ввода/вывода с индивидуальной настройкой направления;
- вывод с открытым стоком для интерфейса 1-Wire;
- три 24-разрядных таймера/счетчика;

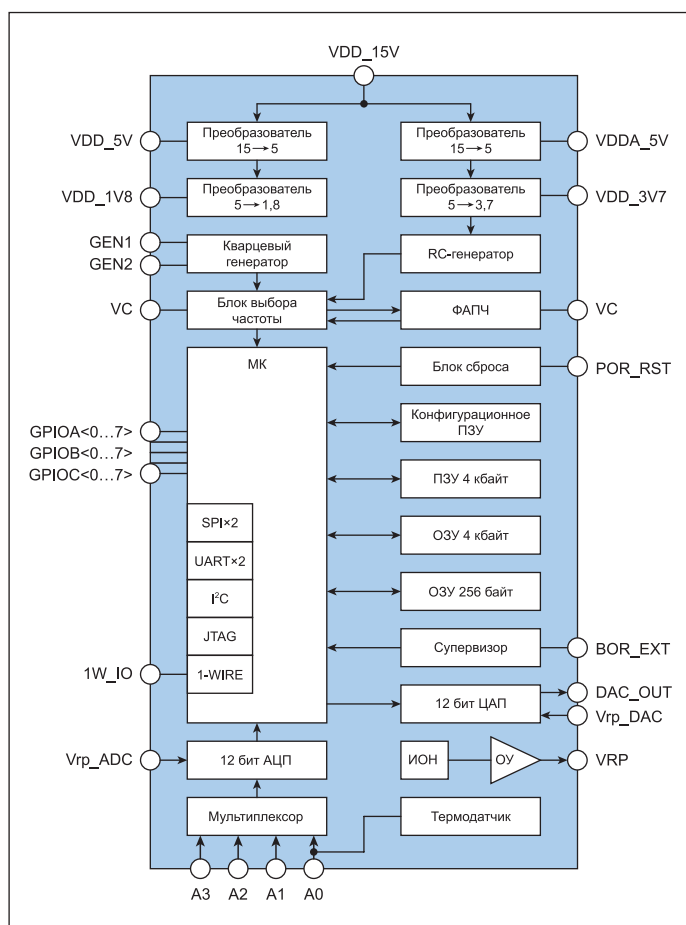


Рис. 1. Структурная схема микроконтроллера 5400TP105-003

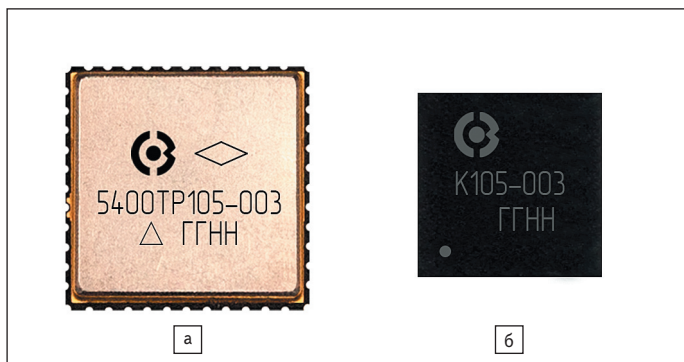


Рис. 2. Внешний вид микросхемы 5400TP105-003:
а) корпус 5142.48-A (12,7×12,7 мм); б) корпус QFN48 (9×9 мм)

- один сторожевой таймер;
 - модуль перевода системы в режим пониженного энергопотребления (SLEEP).
- Встроенные аналоговые и аналого-цифровые блоки:
- 4-канальный, 12-разрядный АЦП с частотой 500 квыб/с;
 - 12-разрядный ЦАП;
 - источник опорного напряжения с масштабирующим ОУ (с возможностью программирования коэффициента усиления);
 - RC-генератор с возможностью программирования частоты в диапазоне 50 кГц – 1 МГц;
 - блок ФАПЧ с возможностью программирования коэффициента умножения;
 - супервизор питания;
 - регуляторы напряжения электропитания.

Для демонстрации функциональных возможностей микроконтроллера 5400TP105-003 и его периферийных модулей разработан отладочный комплект, состоящий из программатора, отладочной платы (рис. 3) и комплекта интерфейсных проводов.

Для разработки программ может использоваться среда проектирования Keil uVision. Программирование микроконтроллера осуществляется через интерфейс JTAG.

Рассмотрим вопросы практического применения микросхемы 5400TP105-003 на примере разработки блока электронного датчика давления.

Современные датчики — важная часть систем управления технологическими объектами и производством. После оснащения датчиков микропроцессором из средств определения текущих значений измеряемых величин они становятся многофункциональными средствами автоматизации, решающими ряд задач по диагностике, преобразованию измерительной информации, выполнению простых алгоритмов управления и т. д. Такие датчики получили название «интеллектуальные».

Быстрое развитие микропроцессорной техники, рост мощности микропроцессоров при одновременном удешевлении делают экономически выгодным их включение в датчики любых типов. Возможности микропроцессоров позволяют совершенствовать процесс измерения: повышение точности и надежности, проведение мониторинга данных, расширение функций управления работой сенсора. Типовая структура интеллектуального датчика давления представлена на рис. 4.

В зависимости от назначения и способа реализации конструкции, часть элементов может быть исключена, или же структура может быть дополнена рядом функций, расширяющих потребительские характеристики устройства. Например, возможна индикация значения контролируемого параметра, повышение уровня устойчивости к электромагнитным помехам, применение кнопок для настройки датчика и т. д.

Ключевой особенностью каждого датчика является его сенсор, то есть метод (технология) преобразования контролируемого физи-

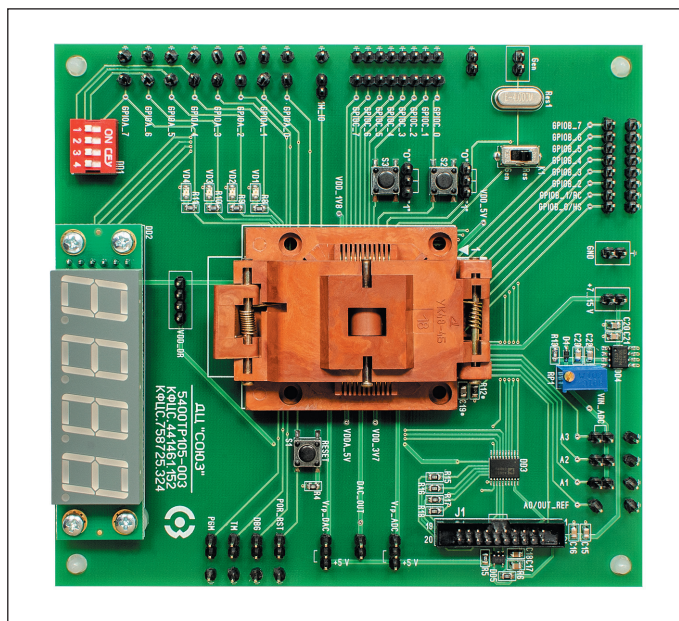


Рис. 3. Отладочная плата для микросхемы 5400TP105-003

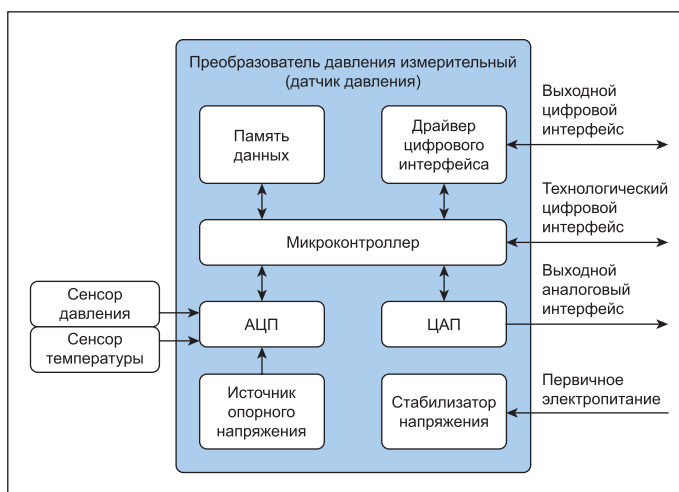


Рис. 4. Типовая структурная схема датчика давления



Рис. 5. Структурная схема реализованного блока электронного датчика давления

Таблица 1. Предварительная оценка ресурсов микроконтроллера

Модуль программы (функция)	Объем ПЗУ, байт	Объем ОЗУ, байт	Время выполнения, мкс
Фильтр МЕДИАНА окно 15 значений 16 бит	333	39	1 845
Фильтр МЕДИАНА окно 15 значений 24 бит	482	75	3346
Фильтр МЕДИАНА окно 9 значений 16 бит	321	27	673,3
Фильтр МЕДИАНА окно 9 значений 24 бит	458	51	1190
Фильтр СРЕДНЕЕ окно 15 значений 16 бит	651	42	222,3
Фильтр СРЕДНЕЕ окно 15 значений 24 бит	725	78	274,5
Фильтр СРЕДНЕЕ окно 9 значений 16 бит	651	30	222,3
Фильтр СРЕДНЕЕ окно 9 значений 24 бит	725	54	274,5
Фильтр ПРИБЛИЖЕНИЕ 16 бит	520	11	210,8
Фильтр ПРИБЛИЖЕНИЕ 24 бит	542	17	245
Полином (степень — 5, членов — 19)	1957	88	4326
Полином (степень — 4, членов — 13)	1463	64	2477
Полином (степень — 3, членов — 10)	1238	52	1559
Полином (степень — 2, членов — 6)	981	36	757,3

Примечания. Время выполнения при тактовой частоте 4 МГц; данные по требуемому объему памяти из конфигурационного файла после компиляции проекта.

Таблица 2. Объем требуемой памяти микроконтроллера для базовой программы

Модуль программы (функция)	Объем ПЗУ, байт	Объем ОЗУ, байт
Инициализация переменных	354	194
Обработка прерываний	88	0
void main() + while(1)	43	10
Загрузка по SPI от АЦП давление (24 бит пакет)	307	7
Загрузка по SPI от АЦП температура (24 бит пакет)	307	7
Фильтр окно 15 значений 24 бита (медиана)	482	75
Полином (степень — 4, переменных — 2, членов — 13)	1463	64
Полином (степень — 2, переменных — 2, членов — 6)	981	36
Выгрузка по SPI в ЦАП (16 бит пакет)	377	8
Коэффициенты полинома (входной)	52+24	—
Коэффициенты полинома (выходной)	52+24	—
ИТОГО	4554	401

Таблица 3. Полином двух переменных (давление и температура)

$P^0 T^0$	T^1	T^2	T^3	T^4
P^1	$P^1 T^1$	$P^1 T^2$	$P^1 T^3$	$P^1 T^4$
P^2	$P^2 T^1$	$P^2 T^2$	$P^2 T^3$	$P^2 T^4$
P^3	$P^3 T^1$	$P^3 T^2$	$P^3 T^3$	$P^3 T^4$
P^4	$P^4 T^1$	$P^4 T^2$	$P^4 T^3$	$P^4 T^4$

Быстродействующие датчики (обычно аналоговые) имеют реакцию до 1–2 мс.

Результаты оценки требуемой памяти микроконтроллера 5400TP105-003 при реализации базовой программы измерения давления представлены в таблице 2.

Также необходимо закладывать порядка 20% от объема памяти от всех программных модулей на прочий код. Таким образом, для реализации на микроконтроллере 5400TP105-003 базового встроенного программного обеспечения блока электронного датчика давления требуется около 6 кбайт ПЗУ и 480 байт ОЗУ, что превышает его ресурсы и требуется оптимизация.

Для экономии ресурсов была снижена степень полиномов линеаризации передаточной характеристики: для входного полинома

до девяти членов (выделены синим и оранжевым цветом в таблице 3), для выходного полинома до четырех членов (выделены оранжевым цветом в таблице 3).

Исследование характеристик блока электронного обработки сигналов от сенсора давления заключалось в проведении оцифровки сигналов с выхода сенсора давления средствами АЦП и передачи их на выход через цифровой технологический интерфейс (через конфигуратор). Затем проводился расчет коэффициентов полинома линеаризации передаточной характеристики. Такая же процедура проведена для выходного сигнала. Затем рассчитанные значения коэффициентов полинома были записаны в память микроконтроллера. После чего повторялись измерения от входа к выходу,

то есть проводилась проверка итоговой погрешности.

В качестве примера в таблице 4 представлены результаты аналого-цифрового преобразования сигнала от сенсора давления (тензомост) и сенсора температуры (терморезистор) при различных температурах окружающей среды.

На основании данных измерений методом наименьших квадратов рассчитаны коэффициенты полинома линеаризации передаточной характеристики. После зашивки этих коэффициентов полинома в микроконтроллер проведено повторное преобразование уже с учетом преобразования полиномом значений полученных от АЦП. В таблице 5 представлены результаты, полученные при повторном аналого-цифровом преобразовании с последующим использованием линеаризующего полинома, прошитого в микроконтроллер.

Результаты повторных измерений показывают, что линеаризация входных данных позволила обеспечить погрешность преобразования менее 0,05% от ВПИ (приведенная к верхнему пределу измерений — ВПИ). Итоговая погрешность измерения от входа к выходу составила менее 0,15%.

На основе микросхемы 5400TP105-003 создан блок электронный обработки сигналов датчика давления, полностью реализованный на электронных компонентах российского производства. В блоке микроконтроллер выполняет функции цифровой фильтрации, линеаризации передаточной характеристики с помощью полинома, масштабирования данных.

При разработке блока проведена оценка скорости действия микроконтроллера и его ресурсов памяти. Полученные результаты измерений показывают, что блок полностью удовлетворяет заданным требованиям и не уступает по характеристикам аналогичному блоку, выполненному из электронных компонентов иностранного производства.

Таблица 4. Результаты аналого-цифрового преобразования

Вход, % от ВПИ	Код АЦП (давление)					Код АЦП (температура) нормированный				
	+70 °C	+45 °C	+20 °C	–15 °C	–40 °C	+70 °C	+45 °C	+20 °C	–15 °C	–40 °C
0	–3 112 988	–2 305 602	–1 335 716	290 190	1 651 098	0,175983	0,265838	0,357846	0,491375	0,590813
25	–3 894 646	–3 112 921	–2 168 831	–574 574	764 247	0,176052	0,26595	0,357895	0,49142	0,59089
50	–4 674 968	–3 920 080	–3 000 319	–1 439 379	–121 868	0,176112	0,266053	0,357918	0,491508	0,590967
75	–5 456 705	–4 726 250	–3 832 098	–2 304 518	–1 007 923	0,17616	0,266126	0,357964	0,491553	0,591028
100	–6 238 817	–5 532 730	–4 663 460	–3 169 089	–1 893 579	0,176194	0,266177	0,358015	0,491616	0,591103
75	–5 459 009	–4 727 194	–3 835 006	–2 308 244	–1 007 604	0,176113	0,266158	0,357908	0,491542	0,591049
50	–4 677 012	–3 921 193	–3 002 404	–1 442 484	–121 893	0,176068	0,266088	0,357858	0,491496	0,591002
25	–3 895 603	–3 114 157	–2 171 527	–577 456	763 708,5	0,17602	0,266055	0,357765	0,491427	0,590852
0	–3 113 509	–2 307 043	–1 339 792	286 506	1 651 840	0,175995	0,265974	0,357717	0,491368	0,590936

Таблица 5. Результаты линеаризации входных значений

Вход, % от ВПИ	Значение давления расчетное, % от ВПИ					Погрешность преобразования, % от ВПИ				
	+70 °C	+45 °C	+20 °C	–15 °C	–40 °C	+70 °C	+45 °C	+20 °C	–15 °C	–40 °C
0	–0,041	–0,021	–0,041	–0,041	–0,011	–0,0405	–0,0211	–0,0406	–0,0409	–0,0111
25	25,013	24,991	24,968	24,933	24,986	0,0128	–0,0086	–0,0322	–0,0675	–0,0139
50	49,969	49,988	49,938	49,958	50,006	–0,0312	–0,0122	–0,0619	–0,0421	0,0064
75	74,962	74,969	74,956	74,991	75,011	–0,0383	–0,0307	–0,0441	–0,0091	0,0114
100	100,005	100,01	100,007	100,006	99,952	0,0047	0,0102	0,0073	0,0062	–0,0484
75	75,024	75,008	75,026	75,095	75,01	0,0244	0,0076	0,0258	0,0946	0,0105
50	50,024	50,032	49,981	50,043	50,021	0,0236	0,0322	–0,0188	0,0433	0,0209
25	25,035	25,06	25,006	25,018	24,986	0,0354	0,0605	0,006	0,0183	–0,0138
0	–0,021	0,065	0,038	0,063	0,018	–0,0206	0,0646	0,0381	0,0627	0,0176