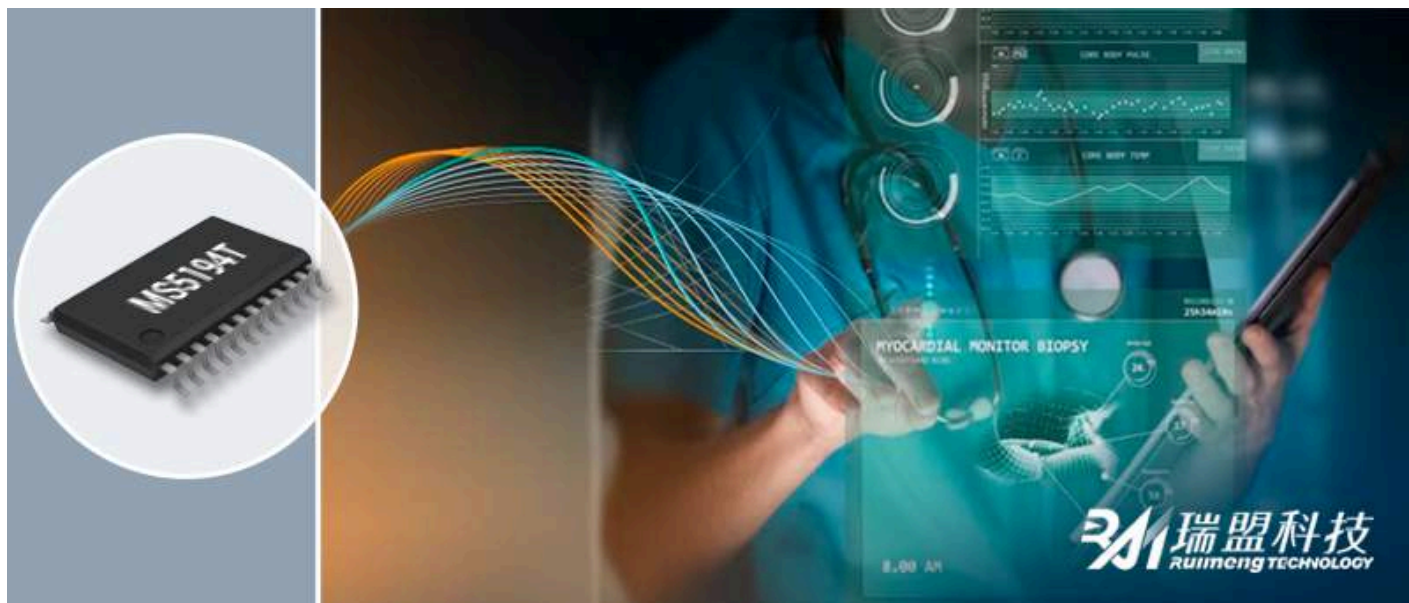


АЦП MS5194T и MS5195T производства Ruimeng для измерительного канала

21 июля 2023



медицина | потребительская электроника | автоматизация | ответственные применения | лабораторные приборы | Ruimeng Technology | статья | интегральные микросхемы | ADC | Sigma-delta ADC | Multichannel ADC

Константин Кузьминов (г. Заполярный)

Измерительные системы промышленного и медицинского оборудования должны обладать высокой точностью, надежностью и стабильностью. Компания **Ruimeng** предлагает многоканальные Σ - Δ АЦП **MS5194T** и **MS5195T** с разрядностью 24 и 16 бит, которые позволяют решать подобные задачи и являются аналогами продукции недоступных брендов.

Китайская компания **Hangzhou Ruimeng Technology Co., Ltd.**, основанная в 2008 году, занимается разработкой и организацией производства интегральных датчиков Холла, аналого-цифровых и аналоговых микросхем для медицинских и промышленных измерительных устройств, приемопередатчиков интерфейсов, решений в мультимедийных областях, частотных генераторов и контроллеров электропривода. Продукция Ruimeng может успешно заменить аналоги производства ушедших компаний. В частности, сигма-дельта аналого-цифровые преобразователи (АЦП) **MS5194T** и **MS5195T** производства Ruimeng, блок-схема которых представлена на рисунке 1, являются аналогами, в том числе по корпусу и назначению выводов, моделей xx7794 и xx7795.

Основные преимущества АЦП MS5194T и MS5195T:

- низкий уровень шума (RMS Noise), равный 40 нВ при 16,7 Гц;
- малое потребление тока: 440 мкА при напряжении питания 5 В и работе встроенного ИОН (при иных условиях потребление может быть снижено до 110 мкА);
- напряжения питания в диапазоне 2,7...5,25 В;
- интегрированный малозумящий операционный усилитель с программируемым коэффициентом усиления;
- малый температурный дрейф встроенного ИОН: 4 ppm/°C;
- широкий диапазон частоты обновления данных, составляющий 4,17...470 Гц;
- встроенный режекторный фильтр 50/60 Гц;
- интегрированные генераторы тактовой частоты, напряжения смещения, источника тока с программируемым управлением;
- контроль исправности цепей датчиков;
- трехпроводной интерфейс, совместимый с SPI®, QSPI™, MICROWIRE™ и DSP;

- эксплуатация при температуре окружающей среды в диапазоне -40...105°C;
- компактный корпус TSSOP24 (рисунок 2).

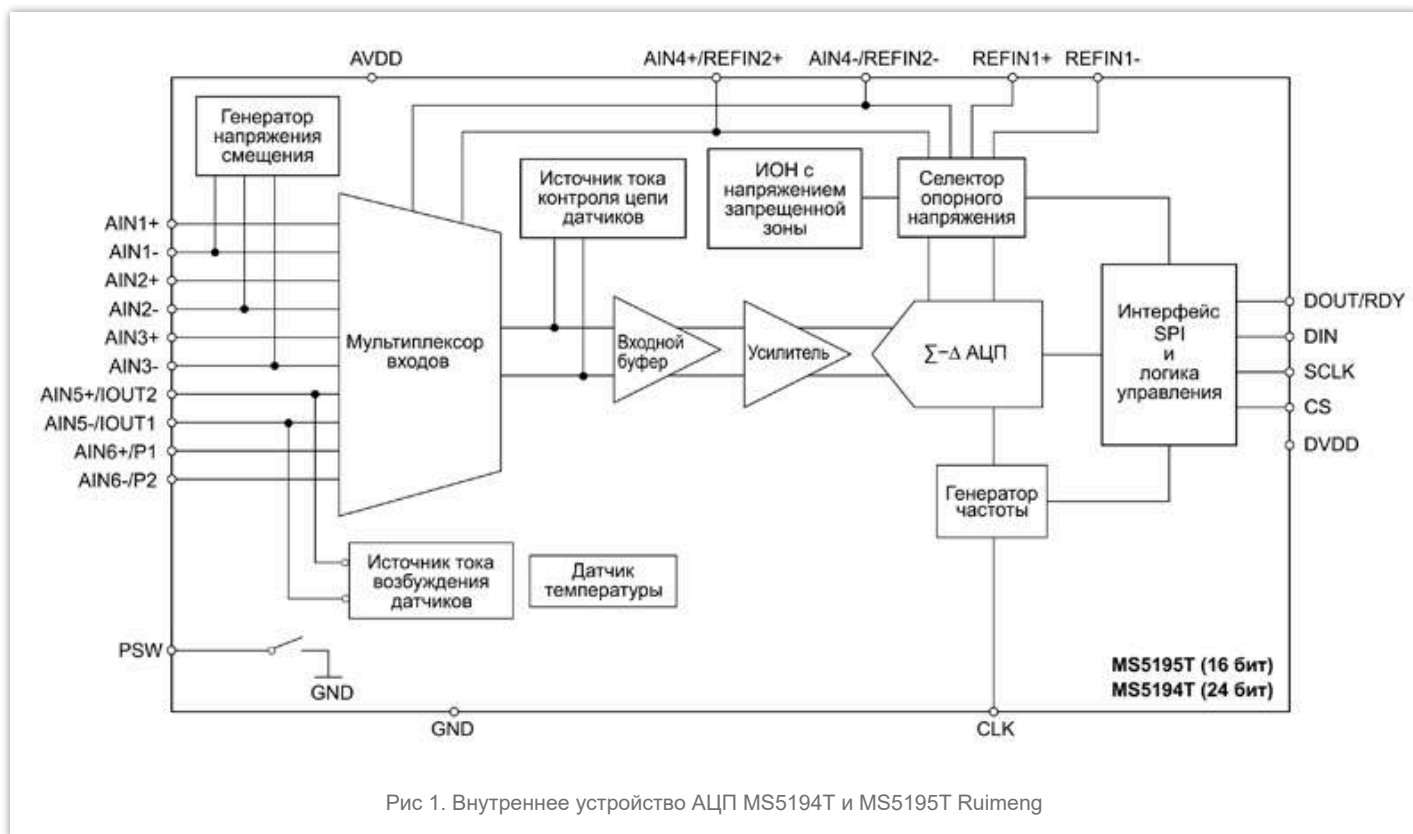


Рис 1. Внутреннее устройство АЦП MS5194T и MS5195T Ruimeng

АЦП MS5194T и MS5195T отличаются разрядностью: 24 и 16 бит, соответственно. Малая потребляемая мощность, низкий уровень шума и широкий температурный диапазон эксплуатации позволяют их применять в высокоточных измерительных системах промышленного и медицинского оборудования.

Корпус и назначение выводов

Назначения выводов АЦП MS5194T и MS5195T приведены на рисунке 2 и в таблице 1. Из них видно, что корпус и выводы полностью аналогичны широко известным моделям хх7794 и хх7795, что позволяет осуществить прямую замену ИС одной компании на продукцию другой.

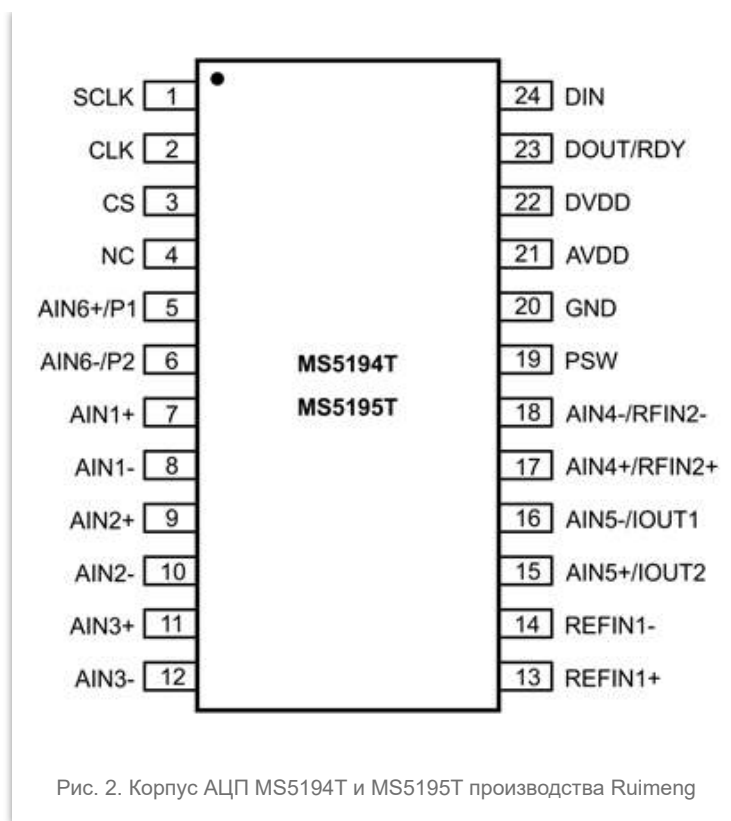


Таблица 1. Назначение выводов АЦП MS5194Т и MS5195Т

Номер вывода	Название	Направление (I – вход, O – выход)	Назначение
1	SCLK	I	Вход тактовой частоты интерфейса SPI
2	CLK	I/O	Вход и выход тактовой частоты АЦП, управление встроенным генератором тактовой частоты
3	CS	I	Выбор микросхемы (Chip Select), активация сигналом низкого уровня
4	NC	–	Не используется
5	AIN6+ /P1	I/O	Положительный вход аналогового сигнала канала 6, выход дискретного сигнала 1 (AVDD или GND)
6	AIN6- /P2	I/O	Отрицательный вход аналогового сигнала канала 6, выход дискретного сигнала 1 (AVDD или GND)
7	AIN1+	I	Положительный вход аналогового сигнала канала 1
8	AIN1-	I	Отрицательный вход аналогового сигнала канала 1
9	AIN2+	I	Положительный вход аналогового сигнала канала 2
10	AIN2-	I	Отрицательный вход аналогового сигнала канала 2
11	AIN3+	I	Положительный вход аналогового сигнала канала 3
12	AIN3-	I	Отрицательный вход аналогового сигнала канала 3
13	REFIN1+	I	Положительный вход источника опорного напряжения 1
14	REFIN1-	I	Отрицательный вход источника опорного напряжения 1
15	AIN5+/IOUT2	I/O	Выход 2 источника тока возбуждения датчиков, положительный вход аналогового сигнала канала 5
16	AIN5-/IOUT1	I/O	Выход 1 источника тока возбуждения, отрицательный вход аналогового сигнала канала 5
17	AIN4+/REFIN2+	I	Положительный вход источника опорного напряжения 2, положительный вход аналогового сигнала канала 4

18	AIN4-/REFIN2-	I	Отрицательный вход источника опорного напряжения 2, отрицательный вход аналогового сигнала канала 4
19	PSW	I	Вход отключения питания (максимальный ток 30 мА)
20	GND	–	Общий
21	AVDD	–	Питание аналоговой части (2,7...5,25 В)
22	DVDD	–	Питание цифровой части (2,7...5,25 В)
23	DOUT/RDY	O	Выход данных интерфейса SPI, выход сигнала готовности данных (активный – низкий уровень)
24	DIN	I	Вход данных интерфейса SPI

Аналоговые входные каналы

MS5194T/MS5195T имеют шесть внешних переключаемых дифференциальных аналоговых входных каналов, которые могут быть сконфигурированы в однополярный или биполярный режим (бит U/B в регистре конфигурации), однако последнее не означает, что АЦП может работать с большим значением отрицательного напряжения относительно GND: однополярный и биполярный режимы определяют сигналы на входе AIN(+) относительно входа AIN(-). Например, если напряжение на AIN(-) равно 2,5 В, то в однополярном режиме диапазон входного напряжения на входе AIN(+) относительно GND составляет 2,5...5 В (с единичным коэффициентом усиления), а в биполярном – 0...5 В. Каналы выбираются комбинациями значений битов CH0...CH3. Две комбинации переключают АЦП на два внутренних канала (в этом случае автоматически выбирается встроенный источник опорного напряжения): канал встроенного датчика температуры и напряжения питания AVDD.

В зависимости от установленных битов BUF и G0 или G1 и G2, сигнал может идти через буферный усилитель, имеющий коэффициент усиления (КУ), равный двум и/или инструментальный усилитель. При значениях КУ инструментального усилителя, равных 1 и 2, буферный усилитель может быть отключен, при значении 4 и более его включение произойдет автоматически. Следует учитывать, что входной каскад буферного усилителя имеет высокое сопротивление, что допускает прямое подключение источников сигнала с высокоимпедансным выходом, например, тензометрические датчики. Отключение же буфера, напротив, приводит к более высокому аналоговому входному току и динамической нагрузке, в результате чего внешние компоненты (резисторы и конденсаторы) на входных каналах могут вызвать ошибки усиления на уровне 20 бит. В таблице 2 показаны допустимые значения комбинаций данных компонентов для безошибочной работы в небуферизованном режиме.

Таблица 2. Комбинации значений резистора и конденсатора входной цепи

Емкость конденсатора, пФ	Сопротивление резистора, кОм
50	9
100	6
500	1,5
1000	0,9
5000	0,2

Буферный и инструментальный усилители влияют на абсолютный диапазон входного напряжения:

- GND + 100 мВ...AVDD – 100 мВ при буферизованном режиме;
- GND + 300 мВ...AVDD – 1,1 В при значении КУ 4 и более;
- GND — 30 мВ...AVDD + 30 мВ при отсутствии буферизации позволяет работать с биполярными относительно GND сигналами небольшого уровня.

Инструментальный усилитель обладает крайне низким шумом: при КУ, равном 64, среднеквадратичное значение шума составляет 40 нВ, что эквивалентно 21-битному эффективному разрешению или 18,5-битному пиковому разрешению. Это позволяет успешно работать с сигналами малой амплитуды. Коэффициент усиления может иметь значение 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 или 128. Таким образом, при внешнем ИОН 2,5 В входной диапазон сигнала в однополярном режиме может быть от 0...20 мВ до 0...2,5 В, а биполярном – от -20...20 мВ до -2,5...2,5 В. На диапазон напряжения входного сигнала влияют значения напряжения внешних ИОН, режимы подавления синфазного тока (бит AMP-CM) и компенсация ошибок методом Chop – попеременным инвертированием дифференциального входа (бит CHOP-DIS):

- если внешний ИОН имеет значение (VREF), равное AVDD, для правильной работы аналоговый входной сигнал должен быть ограничен до 90% от VREF/KУ;
- при $KУ \geq 4$ и включенном Chop синфазное напряжение $(AIN(+) + AIN(-))/2$ должно быть больше или равно 0,5 В;
- при выключенном Chop и включенном AMP-CM допустимое синфазное напряжение ограничено диапазоном между $0,2 + KУ/2 \times (AIN(+) - AIN(-))$ и $AVDD - 0,2 - KУ/2 \times (AIN(+) - AIN(-))$ В.

Источники тока для контроля входных цепей (Burnout)

Два встроенных источника постоянного тока (от AVDD к AIN(+) и от AIN(-) к GND) со значением 100 нА в АЦП MS5194T/MS5195T могут быть включены установкой бита BO в регистре конфигурации, что позволяет проверить работоспособность внешних цепей перед проведением измерений. После включения источников питания токи протекают по цепи, и, если измеренное напряжение соответствует максимальному значению или нулю, пользователь может сделать вывод об аварийном состоянии системы, например, о наличии обрыва или короткого замыкания цепи или внешнего датчика, а также об отсутствии опорного напряжения.

Источники тока для возбуждения (питания) датчиков

Дифференциальный вход AIN5 может быть сконфигурирован битами IEXCDIRx как два выхода IOUT1 и IOUT2 встроенного источника тока для возбуждения внешних датчиков, например, измерительного моста. Биты IEXCENx управляют включением или выключением источника тока и его значением: 10, 210 или 1 мА.

Генератор напряжения смещения

Встроенный генератор напряжения смещения позволяет сместить отрицательные входы AIN(-) трех каналов (AIN1, AIN2 и AIN3) на половину питающего напряжения AVDD/2. Это полезно при измерении сигналов с термопар, так как напряжение, генерируемое термопарой, должно быть смещено относительно некоторого напряжения постоянного тока, если коэффициент усиления инструментального усилителя больше двух. Такое смещение обеспечивает усилителю некоторый запас, что дает возможность преобразования сигналов, близких по значению к GND или AVDD, с минимальной погрешностью. Генератор напряжения смещения управляется с помощью битов VBIASx и Boost. Он увеличивает потребление тока на 40 мкА, а при включении режима Boost – на 250 мкА, однако в последнем случае время включения генератора значительно сокращается.

Источник опорного напряжения

АЦП MS5194T/MS5195T имеют встроенный источник опорного напряжения со значением $1,17 \text{ В} \pm 0,01\%$ с очень малым температурным дрейфом: номинальное значение составляет $4 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, максимальное – $15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. С помощью битов REFSELx можно переключиться на один из двух внешних ИОН: REFIN1 или REFIN2 (альтернативный режим канала AIN4). Номинальное значение внешнего опорного напряжения REFIN составляет $2,5 \text{ В}$, но данные АЦП работают с опорными напряжениями и в диапазоне $0,1 \dots AVDD \text{ В}$. Следует обратить внимание, что входы REFIN не буферизированы, имеют высокий импеданс и динамическую нагрузку, вследствие чего использование ИОН с чрезмерно большим выходным сопротивлением может привести к ошибкам усиления.

Для повышения надежности работы с внешними ИОН MS5194T/MS5195T обладают функцией детектора, которым можно управлять с помощью бита REF_DET. Если напряжение между выбранными выводами REFIN(+) и REFIN(-) падает ниже $0,3 \text{ В}$ либо входы REFIN(+) или REFIN(-) разомкнуты, детектор срабатывает, бит NOXREF в регистре состояния и биты регистра данных (результата преобразования) устанавливаются в значение «1».

Система сброса

Сброс цифровой части (в том числе цифрового фильтра) и аналогового модулятора осуществляется записью 32 последовательных единиц. В этом случае все регистры примут значение по умолчанию. Сброс также выполняется автоматически при включении питания. После инициации сброса необходимо выждать 500 мкс , прежде чем начать обращаться к регистрам.

Кодирование выходных данных

Выходные данные кодируются в зависимости от конфигурации входа АЦП. В однополярном режиме сконфигурированный для однополярной работы выходной код является естественным (прямым) двоичным: напряжение, равное нулю, даст последовательность $00 \dots 0$, середина диапазона — $10 \dots 0$, максимальному значению будут соответствовать $11 \dots 1$. Выходные данные могут быть представлены формулой 1:

$$\text{Code} = \frac{(2^N \times \text{AIN} \times \text{GAIN})}{V_{\text{REF}}} \quad (1)$$

Здесь и далее:

- N – разрядность АЦП;
- AIN – значение напряжения на входе;
- GAIN – коэффициент усиления ($2^{0 \dots 7}$)

При биполярном режиме работы данные смещены: максимальное значение отрицательного напряжения соответствует коду $00 \dots 0$, нулевое – $10 \dots 0$, максимальное значение положительного напряжения – $11 \dots 1$. В этом случае следует применять формулу 2:

$$\text{Code} = 2^{N-1} \times \left[\frac{\text{AIN} \times \text{GAIN}}{V_{\text{REF}}} + 1 \right] \quad (2)$$

Калибровка

АЦП MS5194T/MS5195T обеспечивают несколько программируемых режимов калибровки: внутренних, всей системы смещения и полной шкалы. Калибровка позволяет уменьшить ошибки до уровня шума. После каждого преобразования перед записью информации в регистр результат корректируется с использованием данных регистров калибровки.

Шум и разрядность

Эффективная разрядность с увеличением частоты конверсии уменьшается, а шум увеличивается, что можно увидеть по данным, представленным в таблицах 3 и 4 с использованием внешнего ИОН 2,5 В, а также в таблицах 5 и 6 при работе с встроенным ИОН 1,17 В. Данные округлены до ближайшего младшего разряда и получены при работе в биполярном режиме.

Таблица 3. Среднеквадратичное значение шума (мкВ) в зависимости от частоты выборки и коэффициента усиления для MS5194T с внешним ИОН 2,5 В

Частота, Гц	Коэффициент усиления							
	1	2	4	8	16	32	64	128
4,17	0,532	0,469	0,306	0,240	0,133	0,078	0,044	0,046
33,2	1,978	1,871	0,776	0,474	0,325	0,214	0,151	0,150
123	4,101	3,580	1,735	0,979	0,507	0,294	0,210	0,240
470	8,343	8,739	3,337	2,073	1,337	0,891	0,586	0,589

Таблица 4. Эффективное разрешение (бит) в зависимости от частоты выборки и коэффициента усиления для MS5194T с внешним ИОН 2,5 В

Частота, Гц	Коэффициент усиления							
	1	2	4	8	16	32	64	128
4,17	23(20,5)	22(19,5)	22,5(20)	22,5(20)	22(19,5)	22(19,5)	21,5(19)	20,5(18)
33,2	21(18,5)	20(17,5)	21(18,5)	20,5(18)	20,5(18)	20,5(18)	19,5(17)	18,5(16)
123	20(17,5)	19(16,5)	20(17,5)	19,5(17)	19(16,5)	19(16,5)	18,5(16)	17,5(15)
470	18,5(16)	18(15,5)	18,5(16)	18(15,5)	18(15,5)	18,5(16)	17,5(15)	16,5(14)

Таблица 5. Среднеквадратичное значение шума (мкВ) в зависимости от частоты выборки и коэффициента усиления для MS5194T с внутренним ИОН 1,17 В

Частота, Гц	Коэффициент усиления							
	1	2	4	8	16	32	64	128
4,17	0,614	0,486	0,289	0,194	0,109	0,069	0,045	0,046
33,2	2,244	1,771	0,827	0,443	0,325	0,178	0,129	0,131
123	5,019	3,648	1,704	1,018	0,759	0,376	0,272	0,262
470	9,078	8,366	3,210	2,140	1,330	0,763	0,705	0,503

Таблица 6. Эффективное разрешение (бит) в зависимости от частоты выборки и коэффициента усиления для MS5194T с внутренним ИОН 1,17 В

Частота, Гц	Коэффициент усиления							
-------------	----------------------	--	--	--	--	--	--	--

	1	2	4	8	16	32	64	128
4,17	21,6	20,9	20,7	20,2	20,1	19,7	19,3	18,3
33,2	19,7	19,0	19,1	19,0	18,5	18,4	17,8	16,8
123	18,5	18,0	18,1	17,8	17,3	17,3	16,7	15,8
470	17,7	16,8	17,2	16,8	16,5	16,3	15,4	14,9

По гистограммам, представленным на рисунках 3...6, можно оценить количество шума АЦП в зависимости от включенной или выключенной компенсации ошибок методом Chop, различных ИОН и частоты обновления при напряжении питания аналоговой части (AVDD) 4 В и коэффициенте усиления 64.

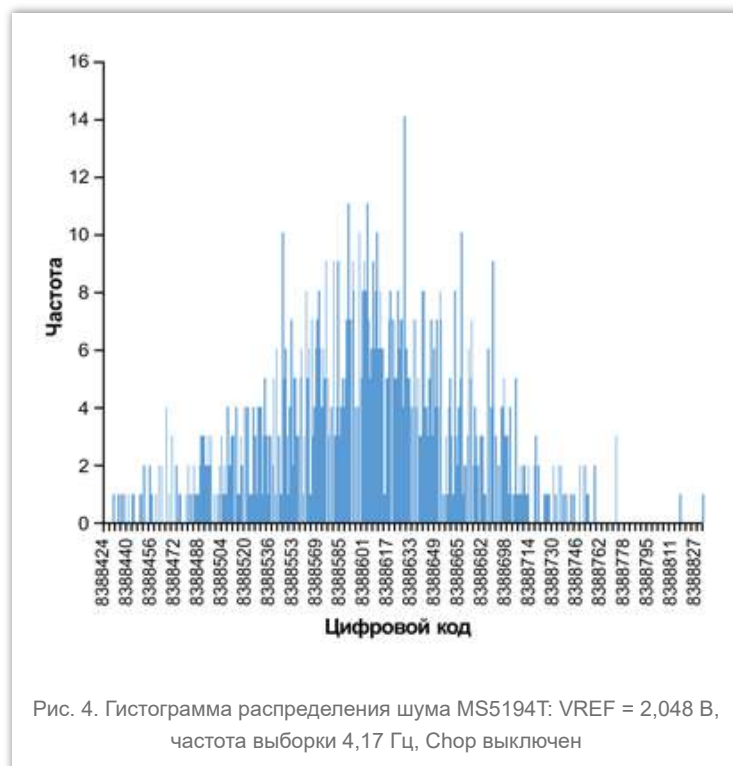
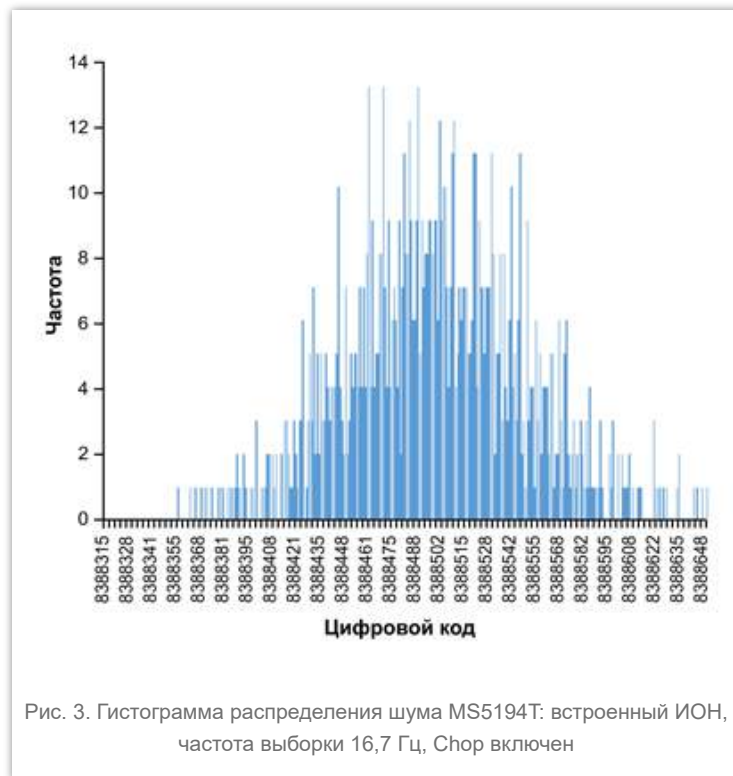




Рис. 5. Шум MS5194T: встроенный ИОН, частота выборки 16,7 Гц, Шор включен



Рис. 6. Шум MS5194T: встроенный ИОН, частота выборки 16,7 Гц, Шор выключен

Пример использования

АЦП MS5194T/MS5195T позволяют получить бюджетный аналого-цифровой функционал с высоким разрешением. Архитектура Σ - Δ обеспечивает устойчивость к шумной среде, что делает MS5194T/MS5195T идеальными вариантами для использования в измерительных системах, а также в оборудовании с высокоточным измерением сигналов с датчиков и в других промышленных приложениях. На рисунке 7 приведена типовая схема (аналоговая часть) применения MS5194T/MS5195T в расходомере, где измерение скорости потока осуществляется по перепаду давления благодаря двум датчикам, включенным по мостовой схеме.

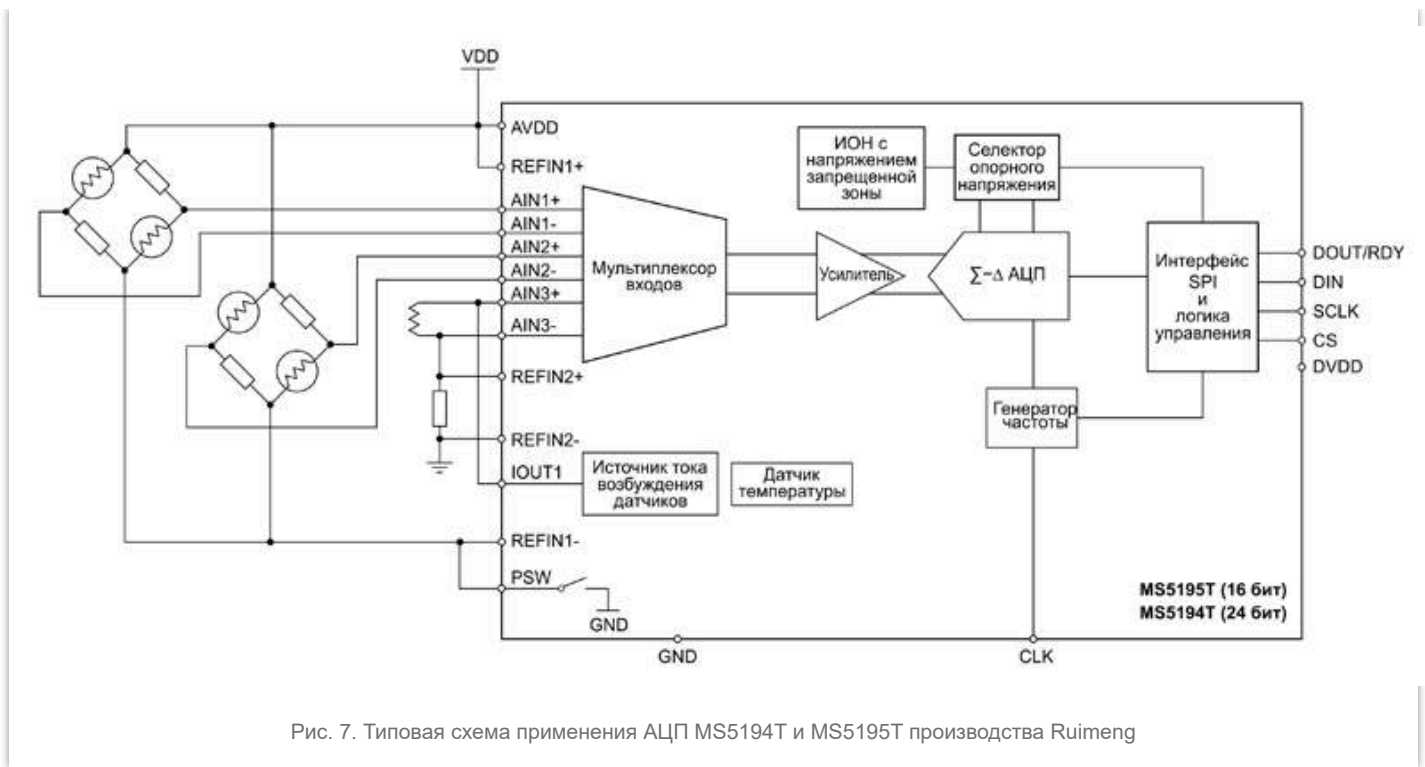


Рис. 7. Типовая схема применения АЦП MS5194Т и MS5195Т производства Ruimeng

В предложенной схеме датчики отключаются встроенным ключом нижнего плеча, что позволяет снизить энергопотребление в режиме ожидания. Температурная компенсация выполняется с помощью термистора, запитанного от встроенного источника тока и прецизионного резистора, включенного последовательно с термистором. Это позволяет получить ратиометрический сигнал (отношение сопротивлений прецизионного эталонного резистора и термистора), исключая влияние изменения тока возбуждения на измерение.

АЦП MS5194Т и MS5195Т производства Ruimeng являются надежными и полнофункциональными аналогами, совместимыми по габаритам корпусов и назначению выводов с АЦП хх7794 и хх7795 других производителей.