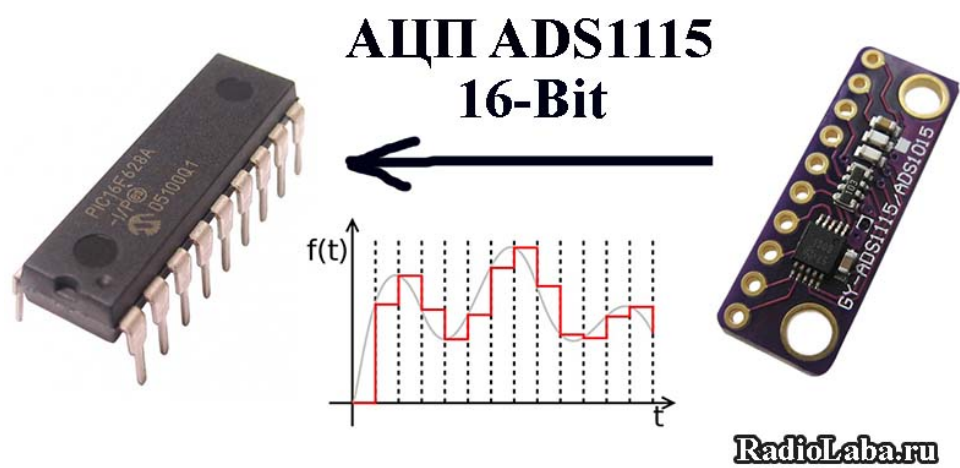


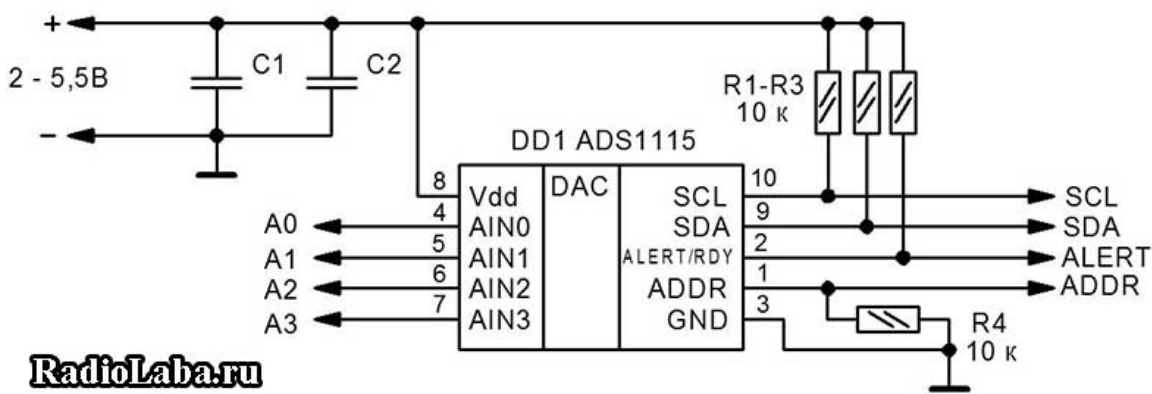
ADS1115 – описание и подключение 16-битного АЦП

admin 23.05.2016 [Микроконтроллеры](#) [комментарий 21](#)

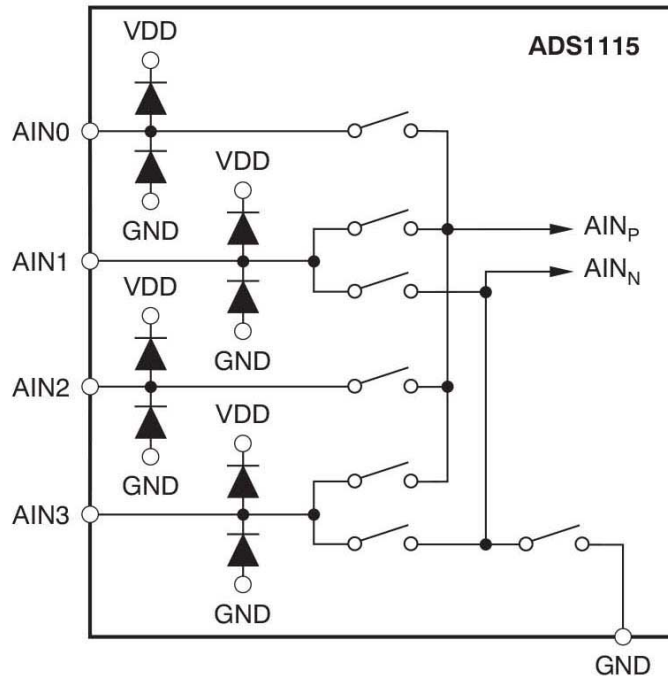


В этой статье я рассмотрю 16-битный аналого-цифровой преобразователь ADS1115, который продается в Китае в виде модуля АЦП под платформу Arduino, хотя конечно не имеет отношения к ней. Отличительными характеристиками этого АЦП является низкое энергопотребление, всего 150 мкА в рабочем режиме, встроенный программируемый усилитель входного сигнала, программируемая частота дискретизации, режим пониженного энергопотребления, выходной компаратор.

На следующей картинке представлена схема модуля АЦП ADS1115, который был куплен [здесь](#):



Всего в микросхеме имеется 4 входа (AIN0-AIN3), которые могут использоваться как два дифференциальных входа для измерения разности напряжения между входами, либо как 4 отдельных несимметричных входа, в этом случае напряжение измеряется между одним из входов и общим проводом. Необходимую комбинацию входов можно задавать с помощью встроенного мультиплексора, структура которого показана на картинке ниже:



Как видно на вход внутреннего АЦП (AINp, AINn) в один момент времени может подключаться только одна комбинация входов. Для дифференциального входа, в случае, когда AINp>AINn, напряжение считается положительным, если AINn>AINp, то напряжение отрицательное. При использовании несимметричного входа измерение напряжения производится относительно общего провода, в этом случае измеряется только положительное напряжение. Микросхема ADS1115 не предназначена для измерения отрицательного напряжения относительно общего провода, на входы можно подавать только положительное напряжение.

Встроенный усилитель дает возможность измерения малых напряжений, не ограничивая разрешение АЦП. В следующей таблице приведены коэффициенты усиления и пределы измеряемого напряжения:

PGA	FS
2/3	±6,144 В
1	±4,096 В
2	±2,048 В
4	±1,024 В
8	±0,512 В
16	±0,256 В

Напряжение питания АЦП должно быть больше или равно диапазону измерения, это касается коэффициентов 2/3 и 1, которые позволяют измерять значения вплоть до величины напряжения питания АЦП. Если напряжение питания меньше предела измерения, выходной код АЦП (результат преобразования) не достигнет максимального значения для выбранного предела измерения. Наибольший предел FS=6,144 В (для коэффициента 2/3) отражает полную шкалу АЦП ADS1115, но это не означает что можно подавать такое значение, напряжение подаваемое на вход АЦП не должно превышать VDD+0,3 В. В случае максимального напряжения питания (5,5 В) измеряемое напряжение не должно превышать 5,5 В+0,3 В=5,8 В.

В следующей таблице представлено соответствие выходного кода АЦП в зависимости от входного напряжения:

Входной сигнал, Vin=AINp-AINn	Значение кода АЦП	Десятичное значение
≥FS	7FFFh	32767
+FS/(2 в 15 степени)	0001h	1
0	0	0
-FS/(2 в 15 степени)	FFFFh	65535
≤-FS	8000h	32768

При измерении напряжения на несимметричном входе используется только половина шкалы выходного кода (0-7FFFh), так как в этом случае измеряется только положительное напряжение.

Для передачи данных ADS1115 использует стандартный широко распространенный интерфейс I2C. В этом интерфейсе для связи с устройством необходимо передать его адрес, длина которого составляет 7 бит. Адрес микросхемы задается с помощью вывода ADDR, в следующей таблице приведены адреса в зависимости от того куда подключается вывод ADDR:

Подключение вывода ADDR	Адрес микросхемы ADS1115
GND	1001000
VDD	1001001
SDA	1001010
SCL	1001011

На модуле этот вывод подключен к общему проводу через резистор, соответственно адрес будет равен значению 1001000.

ADS1115 поддерживает стандартную скорость передачи до 100 Кбит/сек (100 кГц), высокую скорость до 400 Кбит/сек (400 кГц), а также ультравысокую скорость до 3,4 Мбит/сек (3,4 МГц). Из даташита: для активации ультравысокой скорости необходимо после условия “Старт”, вместо адресного байта, отправить байт со значением 00001xxx, при этом АЦП не выдает подтверждение на этот байт, после чего происходит переключение на ультравысокую скорость, действие которой заканчивается после условия “Стоп”. Для работы на скоростях до 400 Кбит/сек ничего предпринимать не надо.

АЦП имеет всего 4 внутренних регистра, все регистры 16-ти битные, соответственно для каждой сессии записи/чтения по интерфейсу I2C передается 2 информационных байта (кроме байта адреса регистра). Описание регистров приведено ниже в таблице:

Название	Описание	Адрес
Conversion register	Регистр хранения результата преобразования	00000000
Config register	Конфигурационный регистр	00000001
Lo_thresh register	Регистр уставки, минимальное значение	00000010
Hi_thresh register	Регистр уставки, максимальное значение	00000011

С помощью конфигурационного регистра осуществляется управление АЦП, описание регистра приведено ниже в таблице:

Бит	Название бита	Значение бита	Описание
15	OS Бит определяет состояние устройства Бит может быть записан только в режиме пониженного потребления	Для записи	
		0	Нет эффекта
		1	Начать преобразование, для режима одиночного преобразования (пониженное потребление)
		Для чтения	
		0	Выполняется преобразование
		1	Преобразование закончено
14-12	MUX Настройка мультиплексора	000	AINp=AIN0 и AINn=AIN1 (умолч)
		001	AINp=AIN0 и AINn=AIN3
		010	AINp=AIN1 и AINn=AIN3
		011	AINp=AIN2 и AINn=AIN3
		100	AINp=AIN0 и AINn=GND
		101	AINp=AIN1 и AINn=GND
		110	AINp=AIN2 и AINn=GND
		111	AINp=AIN3 и AINn=GND
11-9	PGA Коэффициент усиления усилителя	000	FS=±6,144 В
		001	FS=±4,096 В
		010	FS=±2,048 В (умолч.)
		011	FS=±1,024 В
		100	FS=±0,512 В
		101	FS =±0,256 В
		110	FS =±0,256 В
		111	FS =±0,256 В
8	MODE Режим работы	0	Непрерывное преобразование
		1	Одиночное преобразование, режим пониженного потребления (умолч)
7-5	DR Частота дискретизации	000	8 Гц
		001	16 Гц
		010	32 Гц
		011	64 Гц
		100	128 Гц (умолч)

		101	250 Гц
		110	475 Гц
		111	860 Гц
4	COMP_MODE Тип компаратора	0	Компаратор с гистерезисом (умолч)
		1	Компаратор без гистерезиса
3	COMP_POL Полярность компаратора	0	Низкий активный уровень (умолч)
		1	Высокий активный уровень
2	COMP_LAT Режим компаратора	0	Компаратор без “защелки” (умолч)
		1	Компаратор с “защелкой”
1-0	COMP_QUE Управление компаратором	00	Установка сигнала на выходе после одного преобразования
		01	Установка сигнала на выходе после двух преобразований
		10	Установка сигнала на выходе после четырех преобразований
		11	Компаратор выключен (умолч)

АЦП может работать в 2-х режимах: непрерывное преобразование и одиночное. В случае одиночного преобразования, АЦП автоматически переходит в режим пониженного энергопотребления, после окончания преобразования.

Для запуска одиночного преобразования необходимо установить бит OS в 1 (бит может быть записан только в состоянии пониженного потребления). Этот же бит определяет статус преобразования, если бит равен 0, идет преобразование, 1 – преобразование закончено. Путем чтения конфигурационного регистра можно определить готовность результата преобразования.

Режим одиночного преобразования позволяет экономить энергию, например, вместо режима непрерывного преобразования с частотой дискретизации 8 Гц, можно установить максимальную частоту дискретизации 860 Гц, а со стороны управляющего устройства (микроконтроллера) запускать одиночные преобразования с частотой 8 Гц. Время преобразования АЦП для частоты дискретизации 860 Гц составит 1,2 мс, остальные 125-1,2=123,8 мс АЦП будет находиться в режиме пониженного энергопотребления, тем самым потребляя 1/100 часть энергии, от режима непрерывного преобразования.

ADS1115 имеет встроенный компаратор (вывод ALERT/RDY), который можно использовать в качестве оповещения для управляющего устройства (микроконтроллера). Компаратор используется совместно с двумя регистрами уставки (контролируемого параметра): Hi_thresh, Lo_thresh. В конфигурационном регистре можно настраивать тип компаратора (с гистерезисом и без него), активный логический уровень выхода компаратора (вывода ALERT/RDY), режим “защелки” (сохранение уровня сигнала на выходе).

Компаратор с гистерезисом срабатывает, если измеряемое напряжение превышает значение в регистре Hi_thresh, и возвращается в исходное состояние, когда величина напряжения меньше значения в регистре Lo_thresh. Под словом “срабатывает” следует понимать установку активного логического уровня, который зависит от бита COMP_POL.

Компаратор без гистерезиса срабатывает в случае, когда измеряемое напряжение выходит за рамки, установленные в регистрах Hi_thresh, Lo_thresh.

Для правильной работы компаратора значения в регистре `Hi_thresh` (по умолчанию 7FFFh) должны быть больше значения в регистре `Lo_thresh` (по умолчанию 8000h). Кроме этого вывод компаратора ALERT/RDY необходимо подтянуть через резистор к линии питания, на модуле это уже сделано.

Ниже представлена диаграмма работы компаратора:

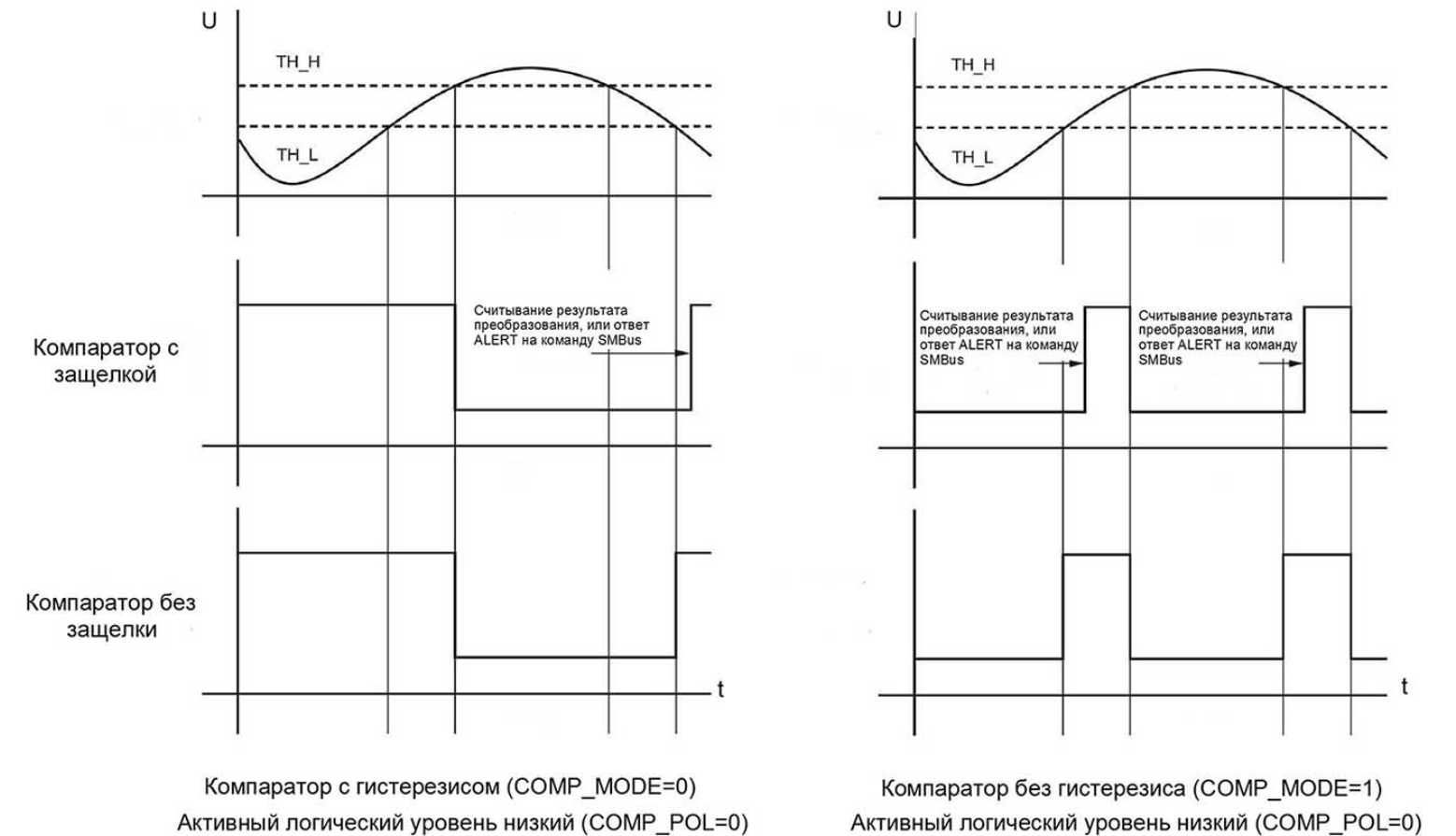


Диаграмма работы компаратора АЦП ADS1115

RadioLaba.ru

Если включен режим “защелки” (`COMP_LAT=1`), то после срабатывания компаратора, уровень сигнала на выходе сохраняется и не меняется, то есть запоминается. Для снятия этого условия и дальнейшей работы компаратора необходимо прочитать результат преобразования из регистра Conversion register, или послать специальную команду предупреждения SMBus (00011001). Получив команду АЦП должен выдать ответ (ALERT) в виде своего адреса, после чего компаратор продолжает работу. Честно говоря, я не вникал в подробности этой команды, нашел только информацию, что она позволяет определить неисправный АЦП.

С помощью бита `COMP_QUE` можно настроить компаратор на срабатывание после одного, двух, четырех преобразований, или выключить его.

Еще одной полезной функцией компаратора является оповещение по окончании преобразования, для включения которого необходимо установить старший бит регистра `Hi_thresh` в 1, а старший бит регистра `Lo_thresh` в 0. В этом случае бит активного уровня `COMP_POL`, а также бит управления компаратором `COMP_QUE` продолжают действовать, биты `COMP_MODE` и `COMP_LAT` не влияют на выход компаратора.

Если функция оповещения включена, то в режиме непрерывного преобразования, после окончания каждого измерения на выходе компаратора появляется импульс длительностью 8 мкс. В режиме одиночного преобразования на выходе компаратора устанавливается низкий логический уровень по окончании преобразования, если бит `COMP_POL` установлен в 0. Тем самым эту функцию удобно использовать в качестве прерывания для управляющего устройства, чтобы не опрашивать постоянно бит `OS`, а сразу считывать результат преобразования.

Я подключил АЦП ADS1115 к микроконтроллеру PIC16F628A, для отображения величины измеряемого напряжения использовал цифровой индикатор на драйвере [MAX7219](#), схема на картинке ниже:

После срабатывания компаратора, считываем результат преобразования из регистра АЦП Conversion register. Полученный результат делим на 16, чтобы получить значение напряжения в милливольтках, данное действие равносильно уменьшению разрешения с 16 до 12 бит. Далее результат деления выводим на цифровой индикатор, после паузы в 0,6 секунд повторяем весь цикл, начиная с записи конфигурационного регистра АЦП, тем самым запуская новое преобразование. Если установлен другой предел измерения, то делить надо на другое число: для предела $FS=\pm 4,096V$ делим результат преобразования на 8, для $FS=\pm 2,048V$ на 16, для $FS=\pm 1,024V$ соответственно на 32, и так далее. Для наибольшего предела $FS=\pm 6,144V$ в код программы нужно добавить арифметические операции, так как простым делением не обойтись, готовый исходник и прошивка для наибольшего предела приведены в конце статьи.

Из-за малого энергопотребления ADS1115 можно использовать в устройствах с автономным питанием, благодаря простому управлению и гибким настройкам этот АЦП можно встраивать в различные радиоэлектронные конструкции. У рассматриваемого АЦП существуют младшие версии – ADS1113 и ADS1114, некоторые модули и функции в этих АЦП урезаны.