

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП

Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет

The classification of sensors according to the degree of their intelligence and the concept of Internet of Things devices are considered. It is proposed to expand the functionality of smart sensors by changing the metrological characteristics of the ADC according to the "resolution / speed" criterion, suppressing external and internal noise, as well as to implement part of the information processing procedures using an ADC device.

В настоящее время системы мониторинга и контроля строятся на основе, так называемых, интеллектуальных датчиков. Отметим, что термин интеллектуальный датчик известен достаточно давно, а популярность и повышенный интерес к данной концепции возник 20-30 лет назад в связи с развитием и внедрением микропроцессорной техники и встраиваемых систем на базе микроконтроллеров.

В известной литературе вводится классификация датчиков по степени их интеллектуальности. Выделяют:

- Сенсор – отдельный чувствительный элемент, выполняющий частное измерительное преобразование, как правило, какой-либо физической величины в электрический сигнал.
- Датчик – устройство, осуществляющее измерительное преобразование одной физической величины в другую, имеющее нормированный выходной сигнал и подтвержденные технические характеристики.
- Цифровой датчик – датчик, в состав которого включен аналого-цифровой преобразователь. Устройство имеет цифровой выход.
- Интеллектуальный датчик – устройство, представляющее собой фактически самостоятельный измерительный прибор. Аппаратно включает в себя, кроме непосредственно датчика, АЦП, микроконтроллер в качестве устройства управления, запоминающее устройство, дополнительные источники опорных напряжений, один или несколько цифровых интерфейсов для подключения к современным сетям передачи данных, а также, опционально источники тестовых сигналов, датчик температуры и другие устройства.

Наличие перечисленного аппаратного обеспечения позволяет реализовать широкие функциональные возможности. В первую очередь, работу по сложным алгоритмам и самое главное изменение алгоритмов работы непосредственно в процессе и на месте эксплуатации без выключения устройства из системы. Например, современные высокопроизводительные процессоры ARM архитектуры позволяют установить специализированные «встраиваемые» операционные системы семейства Linux (Embedded Linux), что позволяет пользователю взаимодействовать с измерительным устройством, как с удаленным ПК. Наличие встроенных дополнительных источников опорного напряжения, тестовых сигналов и датчиков температуры позволяет реализовать функции самодиагностики, самокалибровки и др.

Отметим также, что в последнее время понятие интеллектуального датчика «теряет свою популярность» (менее используется в новых публикациях). При этом на сегодняшний день активно используется термин устройство, выполненное по технологии Internet of Things (IoT) «интернет вещей». IoT – это концепция сети

передачи данных между физическими объектами, оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. IoT устройства используются в любой отрасли, где можно автоматизировать какие-то процессы, или там, где есть необходимость в мониторинге работы объектов или оборудования, например, на производствах. [1]. Таким образом, интеллектуальный датчик в полной мере можно назвать устройством IoT в области информационно-измерительных систем.

Расширение функциональных возможностей за счет использования микропроцессорного устройства управления очевидно – это и, уже указанные выше, более сложные алгоритмы работы, и реализация методов цифровой обработки сигналов (фильтрация, частотный анализ, вейвлет-анализ, адаптивная фильтрация и др.), и коррекция результатов преобразования по, рассчитываемым в процессе эксплуатации, поправкам и т. д. Однако, расширение функционала интеллектуального датчика, как элемента измерительной системы, возможно и с помощью АЦП. Это справедливо в большей степени для АЦП интегрирующего класса.

Рассмотрим возможности данных АЦП:

Во-первых, изменение длительности интервалов преобразования и параметров цифрового фильтра, осуществляющего формирование результата преобразования, позволяет варьировать метрологические характеристики устройства по критерию «разрешающая способность/быстродействие». Например, в 24-битном $\Sigma\Delta$ -АЦП AD4111 (2018 года) пользователю доступны две конфигурации системы ЦФ: *Sinc5* совместно с *Sinc1* и дополнительным фильтром подавления 50 Гц составляющей или отдельного *Sinc3* фильтра. Технические характеристики AD4111 по обмену разрешающей способности на быстродействие приведены в таблице.

Таблица – Технические характеристики AD4111

Частота преобразования, Гц	СКЗ шума, мкВ	Эффективное разрешение, бит	Амплитуда шума (<i>Peak-to-Peak</i>), мкВ	Разрешение (<i>Peak-to-Peak</i>), бит
<i>Sinc5+Sinc1</i>				
31250	106	17,5	750	14,7
15625	94	17,7	580	15,1
10417	82	17,9	512	15,3
5208	62	18,3	372	15,7
2597	47	18,7	312	16,0
1007	27	19,5	190	16,7
504	21	19,9	140	17,1
381	17	20,2	92	17,7
200,3	13	20,6	62	18,3
100,2	8	21,3	45	18,8
59,52	7	21,4	33	19,2
49,68	7	21,4	33	19,2
20	4	22,3	22	19,8
16,67	4	22,3	21	19,9
10	3,7	22,4	18	20,1
5	3,4	22,5	17	20,2
2,5	2,4	23	12	20,7
1,25	2,3	23,1	11	20,8
<i>Sinc3</i>				
31250	1035	14,2	6037	11,7
15625	158	16,9	954	14,4
10417	77	18	536	15,2
5208	50	18,6	334	15,9

2597	34	19,2	205	16,6
1007	22	19,8	137	17,2
504	15	20,3	15	17,5
381	13	20,5	13	17,9
200,3	10	20,9	10	18,2
100,2	7,3	21,4	39	18,9
59,52	6,2	21,6	35	19,1
49,68	5,3	21,8	36	19,1
20	4,9	22	33	19,2
16,67	4,2	22,1	29,8	19,35
10	3,7	22,4	20,9	19,9
5	3,5	22,4	17,8	20,1
2,5	3	22,7	17,8	20,1
1,25	2,9	22,7	14,9	20,4

Во-вторых, подавление внешних и внутренних шумов в измерительном канале посредством весового интегрирования. Например, на рисунке 1, представлена АЧХ канала преобразования и вид весовых функций (ВФ) для подавления собственных шумов элементов измерительного канала.

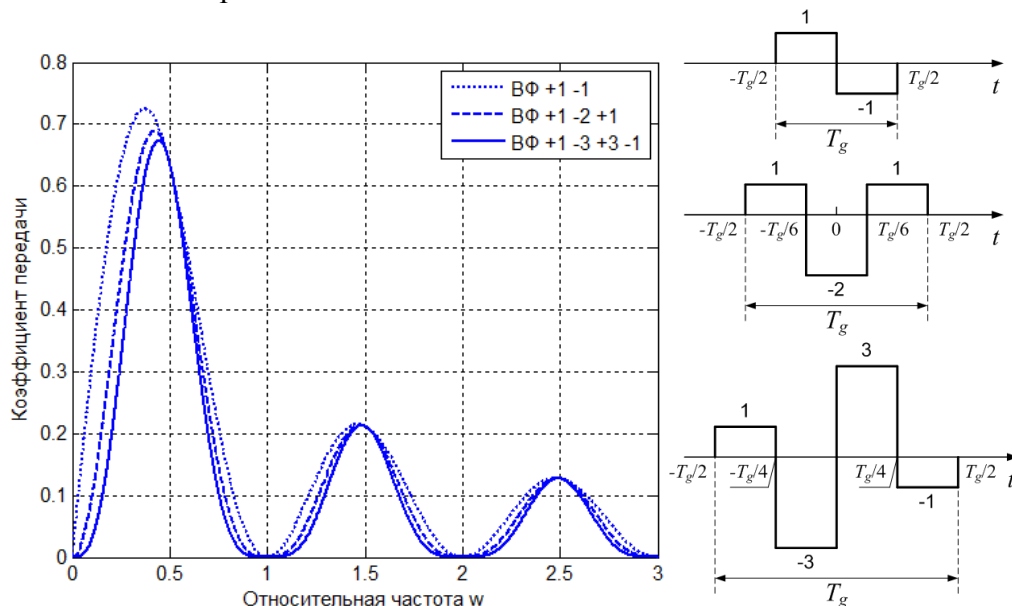


Рисунок 1 – АЧХ канала преобразования для подавления внутренних шумов

ВФ «+1-1» обеспечивает подавление внутренних шумов на частоте 1 Гц равное 24 дБ, на частоте 0,1 Гц – 44 дБ, на частоте 0,01 Гц – 64 дБ, а ВФ «+1-3+3 -1» обеспечивает на тех же частотах подавление 72, 132, и 192 дБ соответственно (при расчетах принято, что значение $w = 1$ соответствует 50 Гц).

В-третьих, в большинстве современных систем цифровые значения измерительных сигналов, формируемые АЦП, проходят процедуру первичной обработки, после которой преобразуются в формат, необходимый для выполнения последующей процедуры анализа, что с точки зрения затрат времени неэффективно в условиях режима реального времени.

ΣΔ-АЦП позволяют реализовать часть процедур обработки информации в ходе аналого-цифрового преобразования. Например, выполнить частотно-временной анализ в системе базисных функций Уолша, как предложено в работе [2,3].

Таким образом, вышеперечисленные свойства АЦП интегрирующего класса,

обеспечивают возможность существенного расширения функциональных, эксплуатационных и метрологических характеристик интеллектуальных датчиков. Вместе с растущими возможностями микропроцессоров техники, данные свойства позволяют на качественном уровне, расширить возможности измерительных сетей интеллектуальных датчиков в рамках концепции IoT устройств. Так как, зарубежные разработчики продолжают рассматривать микросхемы АЦП только как устройства выполняющие оцифровку измерительных сигналов, то указанное направление развития является «вакантным» и перспективным для наших инженеров.

1. IOT conference [Электронный ресурс] режим доступа URL: <https://iotconf.ru/ru/article/chto-takoe-iot-ustroystva-korotko-o-glavnom-91029>, свободный.

2. Николаев А.В., Юрманов В.А., Пискаев К.Ю., Тюрин М.В. Концепция системы идентификации состояния изделий ракетно-космической техники в режиме реального времени. – Датчики и системы. – 2017. - №11(219). – С.31-39.

3. К.Ю. Пискаев., С.В. Юрманова. Модуль анализа сигналов для информационно-измерительной системы на основе интегрирующих АЦП. - Современные информационные технологии. - 2017. - №26. - С.72-81.