РАЗДЕЛ XVI. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Андреев И.А.

Аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа для измерения малых электрических сигналов

ФГБОУ ВПО "Ставропольский государственный аграрный университет"
(Россия, Ставрополь)

doi: 10.18411/lj-07-2021-61

Аннотация

В статье рассматривается возможный способ уменьшения относительной погрешности аналого-цифрового нелинейного преобразователя интегрирующего типа с двухтактным преобразованием в локальной окрестности нижней границы динамического диапазона измеряемой электрической величины, если преобразователь применяется для измерения малых электрических величин при аддитивных помехах, и если источник измеряемой электрической величины не содержит симметричные выходные электрические цепи.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), аддитивные шумы, погрешность измерения электрических величин, операционный усилитель (ОУ).

Abstract

The article discusses a possible way to reduce the relative error of an analog-to-digital converter of an integrating type with a push-pull conversion in the local vicinity of the lower limit of the dynamic range of the measured electrical quantity, if the converter is used to measure small electrical quantities with additive noise, and if the source of the measured electrical quantity does not contain symmetric output electrical circuits.

Keywords: analog-to-digital converter (ADC), additive noise, measurement error of electrical quantities, operational amplifier (OA).

Точностные параметры АЦП [1÷14] напрямую связаны с помеховой обстановкой. Наилучшими показателями в плане сочетания высокого разрешения и высокого помехоподавления, с учетом приемлемой степени сложности реализации, обладают АЦП двухтактного интегрирования. На рисунке 1 представлена упрощенная структурная схема АЦП двухтактного интегрирования, на рисунке 2 – временные диаграммы.

Рис.1. АЦП двухтактного интегрирования

Рис.2. Временные диаграммы АЦП

На первом этапе преобразования ($t = 0 \div T_1$) выходное напряжение интегратора (ОУ2) определяется выражением (1)

$$U_{\text{вых.ОУ2}} = -\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^t U_{\text{вх}}(t) dt, \quad (1)$$

где $\tau = RC$ - постоянная интегрирования и к моменту завершения первого этапа ($t = T_1$),

$$U_{\text{вых.ОУ2}} = -\frac{T_1}{\tau} \cdot U_{\text{вх.ср}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{вх.ср}}$ - усредненное за интервал времени $[0 \div T_1]$ значение входного напряжения.

На втором этапе преобразования ($t = T_1 \div T_2$) выходное напряжение интегратора (ОУ2) определяется выражением (3)

$$U_{\text{вых.ОУ2}}(t) = U_{\text{вых.ОУ2}}(T_1) - \frac{1}{\tau} \cdot \int_{T_1}^{T_1+t} (-U_{\text{ион}}) \cdot dt \quad (3)$$

Завершение второго этапа определяется выполнением условия (4)

$$U_{\text{вых.ОУ2}}(T_2) = 0, \quad (4)$$

а значит и длительности интервала T_2 (кода счетчика) несущего информацию о величине измеряемого напряжения.

Как следует из анализа выражений (1)÷(4), временных диаграмм, рисунок 2, АЦП двухтактного интегрирования успешно справляется с сетевой помехой, но при условии:

- кратности T_2 периоду частоты электропитания;
- значительной величине измеряемого сигнала.

В случае же невыполнения данных условий и прежде всего, в условиях аддитивных помех электромагнитной природы, АЦП двухтактного интегрирования не обеспечивает заданного качества измерения входных сигналов.

Устранить указанные недостатки возможно в случае реализации АЦП двухтактного интегрирования в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

Рис.3. Структурная схема АЦП интегрирующего типа для измерения малых электрических сигналов

Аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа для измерения малых электрических сигналов содержит: резисторы (1, 2, 3, 4); конденсатор (5); запоминающую ёмкость (6); операционный усилитель (7); компаратор (8); источник уровня сравнения (9); ключевые элементы (10, 11); блок включения/выключения источника тока разряда (12); блок тактирования и управления (14); блок кодирования (15) содержащий осциллятор (18), логическую схему «И» (19), счетчик (20); диодно-резистивную схему заряда (16) содержащую источники напряжения E1, E2, резисторы (21), (22), блок (23) ключевых элементов (26, 27), диоды (24), (25); антенна (17); вход (28); выход (29).

Рассматриваемое устройство функционирует следующим образом.

К неинвертирующему входу ОУ 7 приложен ненулевой потенциал, значение которого формируется на запоминающей ёмкости 6, подключенной между неинвертирующим входом ОУ 7 и общей шиной АЦП. Чтобы компенсировать изменение потенциала, вызванное током утечки через запоминающую ёмкость 6, заряд на ней регулируется во втором цикле переключения. По этой причине неинвертирующий вход ОУ 7 не подключен к общей шине, а подключен к запоминающей ёмкости 6 через резистор 4. Процесс зарядки и разрядки запоминающей ёмкости 6 и цикл аналого-цифрового преобразования определяются диодно-резистивной схемой 16. Процесс изменения количества заряда запоминающей ёмкости 6, на которой формируется напряжение, приложенное к неинвертирующему входному ОУ 7 выполняется во втором такте преобразования, начиная с запуска компаратора 8 до начала периода следующего такта преобразования и уровень напряжения запоминающей ёмкости 6, достигнутый в начале первого такта следующего цикла преобразования, остаётся неизменными до тех пор, пока компаратор 8 не начнет работать во втором цикле последующего цикла переключения. Это позволяет обеспечить ток заряда интегрирующего конденсатора 5 во время первого цикла преобразования, генерировать не нулевой цифровой код на выходе 29 преобразователя для любого значения входного сигнала (включая ноль). Неинвертирующий входной вывод ОУ 7 подключен к запоминающей ёмкости 6, а её потенциал задается диодно-резистивной схемой 16. Что в свою очередь, открывает возможность подключения к неинвертирующему входному выводу ОУ 7 дополнительных электрических цепей без изменения режима функционирования ОУ 7 по постоянному току. В данном случае, это используется в целях снижения погрешности преобразователя при воздействии

электромагнитных помех, за счет электрического симметрирования резистивных электрических цепей, подключенных к инвертирующему и неинвертирующему входам ОУ 7. Симметрирование резистивных цепей обеспечивается попарным равенством сопротивлений резисторов $1 \div 4$. Вследствие этого, помехи, поступающие на инвертирующий вход ОУ 7 совместно с током, подлежащим измерению, подвергаются компенсации за счет поступления помехи на неинвертирующий вход ОУ 7 с выхода симметрирующей электрической цепи. И тем самым обеспечивается снижение влияния аддитивных помех электромагнитной природы на выходной код преобразователя.

1. Жаворонкова М.С., Бондарь С.Н. Перспективы совершенствования систем сбора данных // Техника и технология. 2012. № 3. С. 30-31.
2. Ghavoronkova M.S., Bondar S.N. Ways of perfection of modern systems of data gathering // European Journal of Natural History. 2012. № 2. 25s.
3. Бондарь М.С., Бондарь С.Н. Разработка измерительно-вычислительного комплекса контроля уровня напряжения с возможностью коррекции погрешностей входящего в его состав цифрового вольтметра // Информационные системы и технологии. 2009. №5 (55). С. 95-104.
4. Пат. 59915 Российская Федерация, МПК H03M1/60. Аналого-цифровой преобразователь [Текст]./ Хорольский В.Я., Бондарь С.Н., Бондарь М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2006120991/22; заявл. 13.06.2006; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.
5. Хорольский В.Я., Бондарь С.Н., Бондарь М.С. Повышение эффективности высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей за счет введения блока определения знака и инвертирования отрицательных напряжений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2007. № 3 (139). С. 15-17.
6. Бондарь М.С., Бондарь С.Н. Разработка электронного учебника по теме "аналого-цифровые преобразователи" для углубленного изучения материала дисциплин "метрология" и "электроника" // Педагогические науки. 2009. № 6 (39). С. 105-106.
7. Пат. 162372 Российская Федерация, МПК H03M1/34. Микроконтроллерный АЦП с использованием переходного процесса в RC -цепи [Текст]./ Бондарь С.Н., Жаворонкова М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2015148343/08; заявл. 10.11.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16.
8. Пат. 176659 Российская Федерация, МПК H03M1/38. Аналого-цифровой преобразователь [Текст]./ Бондарь С.Н., Жаворонкова М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2017119127; заявл. 31.05.2017; опубл. 24.01.2018, Бюл. № 3.
9. Бондарь С.Н., Вахтина Е.А. Скоростной АЦП последовательного приближения // В сборнике: Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. Материалы XII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 21-27.
10. Пат. 2656989 Российская Федерация, МПК H03M1/26, H03M1/34. Аналого-цифровой преобразователь [Текст]./ Бондарь С.Н., Жаворонкова М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2017115523; заявл. 02.05.2017; опубл. 07.06.2018, Бюл. № 16.
11. Пат. 182312 Российская Федерация, МПК H03M1/38. Аналого-цифровой преобразователь [Текст]./ Бондарь С.Н., Жаворонкова М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2018112832; заявл. 28.04.2017; опубл. 14.08.2018, Бюл. № 23.