УДК 681.142.621

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОНВЕЙЕРНОГО ТИПА

Волынская А.В., Сергеев Б.С.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», Екатеринбург, e-mail: Anna-Volinskaya@mail.ru

Аналого-цифровые преобразователи конвейерного типа пока не нашли широкого внедрения в виде одной интегральной схемы. При этом по комплексу параметров: высокое быстродействие, минимальный объем элементов, малое потребление энергии, возможность интегрального исполнения – они могут составить конкуренцию широко применяемым АЦП. По быстродействию конвейерные АЦП незначительно уступают лишь параллельным АЦП, но имеют в сотни и тысячи раз меньше операционных усилителей (включенных по схеме без отрицательной обратной связи), выполняющих роль компараторов, более экономичны, надежны. Предлагается структура конвейерного АЦП, который по быстродействию уступает лишь АЦП параллельного типа, но содержит существенно меньше элементов, что делает его экономичнее, надежнее, дешевле и компактнее. По точности (числу разрядов) он уступает «медленным» АЦП, например, поразрядного уравновешивания, но по быстродействию существенно превосходит их. Предполагаемая область применения – «полевая» аппаратура с малым энергопотреблением, но высоким быстродействием.

Ключевые слова: каскадное (конвейерное) соединение разрядов АЦП, быстродействие, малое энергопотребление, надежность, автономная аппаратура

THE ANALOG-DIGITAL CONVERTER CONVEYOR-BASED

Volynskaya A.V., Sergeev B.S.

Ural state university of railway transport, Ekaterinburg, e-mail: Anna-Volinskaya@mail.ru

Analog-digital converters conveyor-based yet didn't find wide introduction in the form of one integrated scheme. Thus on a complex of parameters: the minimum volume of elements – small consumption of energy – possibility of integrated execution they can compete high speed with widely applied analog-digital converter. On speed conveyor analog-digital converter slightly concede to only parallel analog-digital converter, but have in hundreds and thousands times less operational amplifiers (included according to the scheme without negative feedback), comparators carrying out a role, are more economic, reliable. The structure of the conveyor analog-digital converter which on speed concedes to only analog-digital converter of parallel type is offered, but contains essentially less elements that does it more economic, more reliable, cheaper and is more compact. On accuracy (number of categories) it concedes to «slow» analog-digital converters, for example, a digit-by-digit equilibration, but in speed essentially surpasses them. An expected scope – «field» equipment with small power consumption, but high speed.

Keywords: cascade (conveyor) connection of categories, speed, small power consumption, reliability, independent equipment

Аналого-цифровые преобразователи конвейерного типа пока не нашли широкого внедрения в виде одной интегральной схемы. При этом по комплексу параметров: высокое быстродействие, минимальный объем элементов, малое потребление энергии, возможность интегрального исполнения – они могут составить конкуренцию широко применяемым АЦП. По быстродействию конвейерные АЦП незначительно уступают лишь параллельным АЦП, но имеют в сотни и тысячи раз меньше операционных усилителей (включенных по схеме без отрицательной обратной связи), выполняющих роль компараторов, более экономичны, надежны [2]. Например, 10-разрядный параллельный АЦП содержит 1024 ОУ (компараторов), а представленный в данной статье конвейерный АЦП – всего 20.

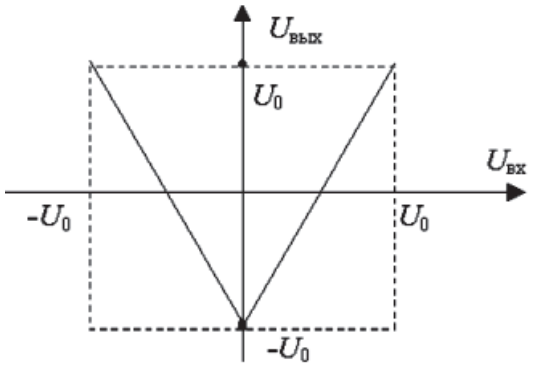
Общее для различных вариантов конвейерных АЦП – последовательное (конвейерное) соединение операционных усилителей (ОУ), число которых кратно числу разрядов АЦП. Это обстоятельство – главная причина, ограничивающая быстродействие и точность преобразования, т.к. задержка распространения сигнала, смещение и дрейф нуля операционных усилителей накапливаются от разряда к разряду.

Быстродействие конвейерных АЦП определяется быстродействием используемых в них операционных усилителей, числом разрядов и может быть охарактеризовано временем преобразования

$$T_{\text{пр.max}} = \frac{1}{2\pi f_0} \ln 2 \frac{n(n-1)}{2},$$

где f_0 – граничная частота усиления ОУ; n – число разрядов АЦП.

Так, известная схема преобразователя «аналог – код Грея» [1] содержит последовательно включенные блоки с V-образной передаточной характеристикой (рис. 1).



$$U_{вых} = 2\left|U_{вх}\right| - U_0;$$

$$U_0 = U_{вх\ max}$$

Рис. 1. V-образная характеристика

Основа такого блока – широко применяемая схема взятия модуля [7, 6]. Эта схема имеет ряд недостатков, особенно ощутимых при использовании ее в конвейерных АЦП: во-первых, нелинейность передаточной характеристики вблизи нуля на интервале 0,3–0,7 В (так называемый отрыв, обусловленный наличием диодов в цепи обратной связи ОУ); во-вторых, схема содержит два ОУ, что приводит к двойному увеличению задержки распространения сигнала, накоплению смещения и дрейфа нуля, увеличению потребляемой мощности, снижению надежности и т.д. Например, для 10-разрядного АЦП известная схема содержит 40 ОУ.

Улучшить характеристики такого АЦП можно, применив в *V*-блоках прецизионную схему взятия модуля, которая содержит в каждом каскаде лишь один ОУ [4]. Структура усовершенствованного АЦП приведена на рис. 2.

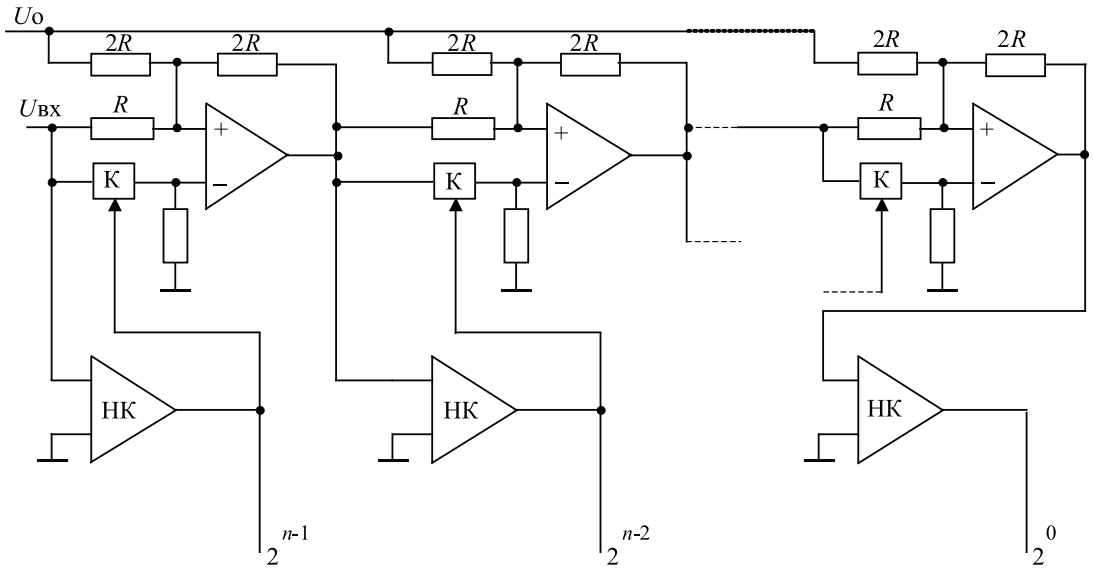


Рис. 2. АЦП в код Грея

Для описания его работы достаточно рассмотреть действие одного *V*-блока. Если $U_{вх}(t) < 0$, то на выходе нуль-компаратора НК – уровень логического нуля. При этом аналоговый ключ К закрыт. Коэффициент передачи ОУ для входного сигнала равен

$$k = \frac{2R}{2R\left|R\right|} + 1 = 4.$$

Если $U_{вх}(t) > 0$, то на выходе НК – уровень логической единицы, ключ К открыт и входной сигнал поступает одновременно на оба входа ОУ. Коэффициент передачи по неинвертирующему входу равен

$$k = -\frac{2R}{R} = -2,$$

а результирующий коэффициент передачи $k = -2 + 4 = 2$.

Таким образом, происходит взятие модуля входного сигнала с одновременным усилением в два раза. Для смещения входного сигнала на величину U_0 инвертирующий вход ОУ соединен с источником эталонного напряжения через резистор $2R$.

На рис. 3 приведена принципиальная схема шестиразрядного двуполярного АЦП «аналог-код Грэя», дополненная преобразователем «код Грэя – нормальный двоичный код».

На рис. 4 приведены осциллограммы, которые иллюстрируют работу АЦП.

Минимальное количество элементов резко снижает энергопотребление, делая предлагаемое решение очень экономичным. Например, АЦП К1107ПВ2 [5] потребляет

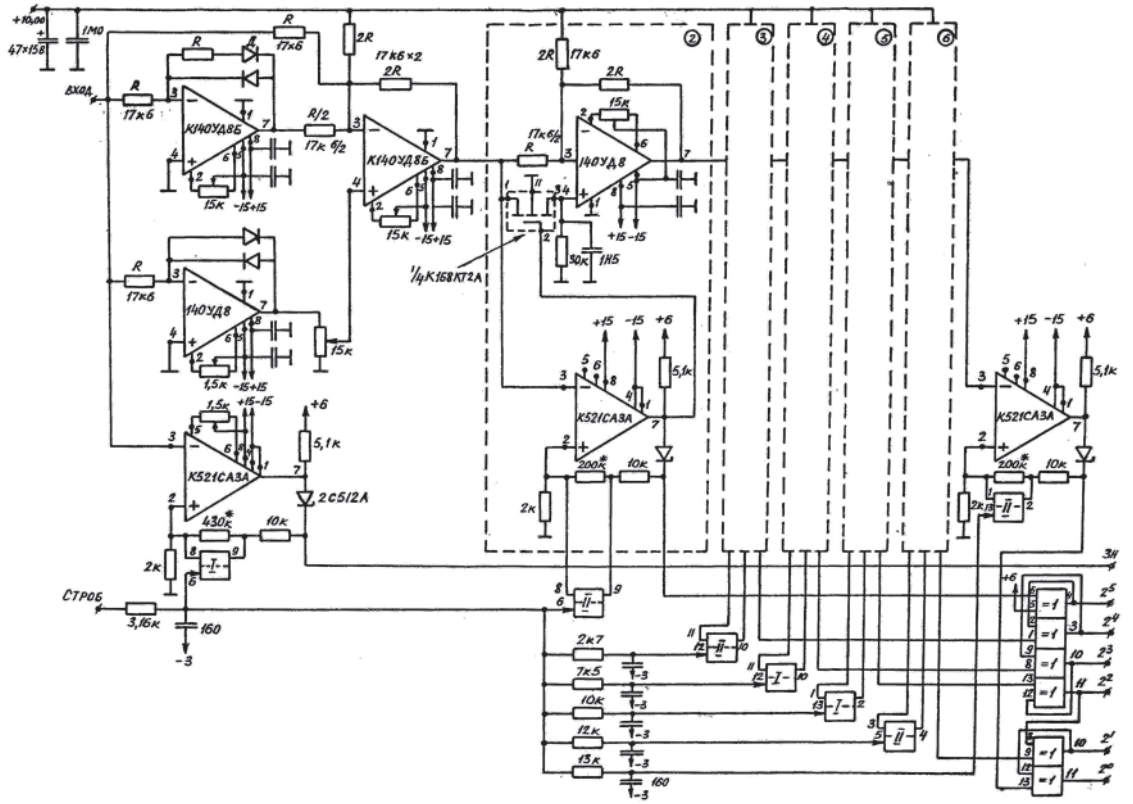


Рис. 3. Принципиальная схема АЦП

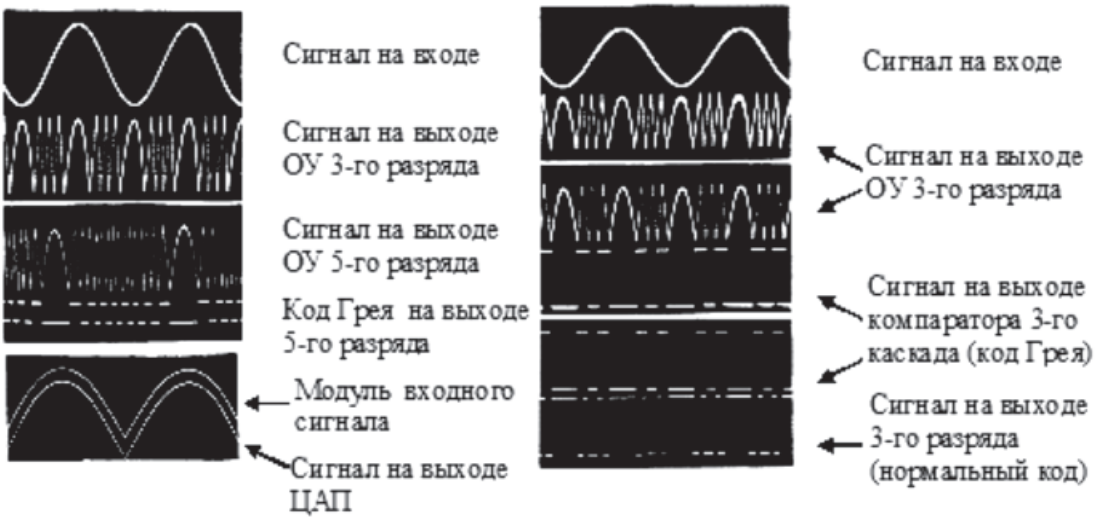


Рис. 4. Осциллограммы работы АЦП

ток в сотни мА, а наше решение – не более 10 мА. Часто это обстоятельство – решающее, например, в автономной аппаратуре длительного мониторинга (годы), вживленные кардиостимуляторы и т.д. Нет никаких препятствий реализовать эту структуру на одном чипе, однако, можно привести примеры из практики, когда при отсутствии типовых АЦП с подобным сочетанием характеристик можно быстро реализовать АЦП по схеме, приведенной на рис. 3 с использованием SMD-технологии. Широкое применение АЦП на железнодорожном транспорте обусловлено переходом информационных систем на цифровую обработку сложных сигналов [3].

Список литературы

1. Schmid H. Electronic Analog-digital conversions. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1970. – 527 p.

2. Балакай В.Г., Крюк И.П., Лукьянов Л.Н. Интегральные схемы АЦП и ЦАП. – М.: Энергия, 1978. – 53 с.

3. Волынская А.В., Сергеев Б.С. Предпосылки применения псевдослучайных сигналов-переносчиков в каналах телемеханики железнодорожного транспорта // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник РАН ВИНИТИ. – 2011. – Вып. 6. – С. 39–41.

4. Волынский Д.Н., Самойлов А.И. Схема для получения модуля сигнала и восстановления знака. – Свердловск, 1981. – 9 с. – УЭМИИТ. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 4.02.81; № 1339.

5. Марцинкявичус А.-Й. К., Багданскис Э.-А. К., Пошюнас Р.Л. и др. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров / под ред. А.-Й. К. Марцинкявичуса, Э.-А. К. Багданскиса. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.: ил.

6. Справочник по нелинейным схемам / под ред. Д. Шейнголда. – М.: Мир, 1977. – 29 с.

7. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. – М.: Советское радио, 1979. – С. 183.

References

1. Schmid H. *Electronic Analog-digital conversions.* New York, Van Nostrand Reinhold, 1970, 527 p.

2. Balakai V.G., Kryuk I.P., Lukyanov L.N. *Integralnyie chemy ATsP I TsAP.* M., Energiya, 1978, 53 p.

3. Volynskaya A.V., Sergeev B.S. *Predposylki primeneniya psevdosluchainyh signalov-perenoschikov v kanalah telemehaniki zheleznodorozhnogo transporta.* Transport, nauka, tehnika, upravlenie, nauchnyi informatsyonnyi sbornik RAN VINITI, 2011, no. 6, pp. 39-41.

4. Volinskyi D.N., Samoilov A.I. *Shema dlya polucheniya modulya signala I vosstanovleniya znaka знака.* Sverdlovsk, 1981, 9 p, Dep. v TsNIITEI MPS 4.02.81. no. 1339.

5. Martsinkyavichus A.K., Bagdanskis E.K., Poshunas R.L. *Bystrodeistvuyushie integralnye mikroshemy TsAP I ATsP I izmerenie ih parametrov.* Pod red. Martsinkyavichusa A.K., Bagdanskisa E.K. M., Radio I svyaz, 1988, 224 p., il.

6. Spravochnik po nelineinym chemam. Pod red. D. Sheingolda. M., Mir, 1977, 29 p.

7. Shilo V.L. *Lineinye integralnye shemy.* M., Sovetskoe radio, 1979, 183 p.

Рецензенты:

Нестеров В.Л., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения, г. Екатеринбург;

Иванов В.Э., д.т.н., профессор Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 18.05.2012.