

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ МНОГОЗНАЧНЫХ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ МЕР С НЕОДИНАКОВЫМИ РАЗМЕРАМИ КВАНТОВ

В статье рассмотрено виды ЦАП на резистивных делителях тока и напряжения, а также проанализировано их сильные и слабые стороны. В итоге поставлена задача теоретически рассчитать параметры (характеристики) для ЦАП с двумя резистивными делителями напряжения, тем самым уменьшив количество прецизионных резисторов. Рассмотрен метод с использованием шкалы нониуса и применение ее принципа в создании более точной шкалы, применив при этом одинаковые технические расходы.

Ключевые слова: ЦАП, резистивный делитель напряжения, единица квантования, градация, нелинейность, шкала, линейка.

V.O. VARESHKO

Khmelnitskiy National University, Ukraine

ON POSSIBILITY OF DEVELOPING THE LINEAR SCALE FOR INFORMATION CONVERTERS USING TWO MULTI-VALUED ADJUSTMENT-FREE MEASURES WITH VARYING SIZES OF QUANTA

In the paper, types of DAC on resistive dividers of current and voltage are considered, and their merits and demerits are analyzed. Finally, there is stated a problem to compute theoretically parameters (characteristics) for DAC with two voltage resistive dividers for decreasing number of precision resistors. A method with vernier scale usage is considered, as well as its principle application for developing more precise scale, where the same technical resources are spent.

Keywords: DAC, resistive voltage divider, unit quantization scale, linearity, range.

Вступление

Современный мир заполнен как естественными, так и искусственными радиосигналами, поэтому электронные преобразователи информации стремительно развиваются, наполняя эфир новыми сигналами. Трудно представить нынешнему человеку свою повседневную жизнь без телевизора, радио или мобильного телефона. С каждым днем на рынке становится все больше подобных товаров, а потому удешевление таких устройств за счет экономии определенных деталей, не снижая при этом функциональной способности, позволяет поднять спрос на продукцию и открывает новые рынки сбыта. Поэтому развитие радиотехники актуально сегодня как никогда ранее. В частности ведутся исследования по совершенствованию аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП), которые играют очень важную роль чуть ли не во всех электронных приборах.

ЦАП классифицируют по различным признакам: назначению и составу, выполняемым функциям, электрическим характеристикам, конструктивно-технологическим и эксплуатационным свойствам. Базовые группы ЦАП определяют в соответствии с принципом действия, структурой и типу основных блоков (рис. 1). В этой статье будет идти речь о возможном улучшении шкалы формирования напряжения параллельного ЦАП на резистивном делителе напряжения [1].

Анализ первоисточников

Рассмотрев основные группы ЦАП, можно сделать вывод, что известно много методов преобразования код — напряжение [2]. Эти методы существенно отличаются друг от друга потенциальной точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации, а также интегральной и дифференциальной нелинейностью.

Точность ЦАП зависит от степени температурного согласования сопротивления резистивных матриц, стабильности опорного напряжения, характеристик ОУ и внутренних сопротивлений переключателей. Погрешность переходного процесса, т.е. выбросы на фоне выходного сигнала обусловлены тем, что переключающие элементы ЦАП имеют разные времена включения и выключения. Основной характеристикой ЦАП является передаточная характеристика $U = f(N)$, которая представляет собой ступенчатую кривую. Для оценки этих различий вводятся статические и динамические параметры [3]. Анализируя эти характеристики можно попытаться создать принципиально новую схему делителя. На данном этапе исследования можно лишь теоретически предполагать качество новой схемы, которая будет основана на преимуществах разного рода делителях напряжения. По этому, все положительные и отрицательные характеристики этого метода пока что можно определить лишь, основываясь на предшествующих схемах. А статья поверхностно описывает



Рис. 1. Основные группы ЦАП

математическую составляющую нового метода построения схемы делителя.

Также был упомянут метод использования двух многозначных нерегулируемых мер с неодинаковыми размерами квантов, который применяется для измерения малых значений искомых величин. Этот метод подробно описан в [4]. Именно этот метод, — принцип нониуса, дал толчок для создания нового вида построения шкалы для ЦАП, исследуемой в статье.

Цель статьи

Исследуется возможность усовершенствования шкалы преобразователя информации с использованием двух наборов резисторов, которые отличаются на единицу. Описан принцип создания исследуемой линейки на резистивных делителях напряжения. Предполагается, что есть алгоритм, который даст возможность изначально определить коды вспомогательных линеек для достижения искомого выходного напряжения. Результатом такой работы будет экономия средств для создания многоразрядного цифро-аналогового преобразователя с помощью принципа нониуса (за счет различной цены деления линеек).

ЦАП с двумя резистивными делителями напряжения

Любой ЦАП представляет собой устройство, на вход которого подается код, а на выходе создается ступенчато изменяющаяся аналоговая величина заданного размера (рис. 2). Входной код обычно — это двоичный код, исходной величиной может быть напряжение, ток, сопротивление, частота, угол поворота, линейное смещение, световой поток.

В данной работе рассматривался вариант, когда на вход подается двоичный код, а на выходе — напряжение. Рассмотрим гибридную шкалу ЦАП, что получена из нескольких резистивных делителей Кельвина (рис. 3) и разность их значений через аналоговый сумматор.

Основой такого преобразователя будут две шкалы с различными грациями. Они обе формируются из делителей Кельвина с разным количеством резисторов и одинаковым напряжением. Лучше выбирать разницу делящихся элементов в один резистор, или когда их количества взаимно просты. Подробнее это описано в [5].

Преимуществом схемы делителя Кельвина (цугового ЦАП) является малая дифференциальная нелинейность и гарантированная монотонность характеристики преобразования. Недостаток схемы — необходимость изготавливать на кристалле большое количество (2^N) согласованных резисторов. Тем не менее, в настоящее время выпускаются 8-ми, 10-ти и 12-ти разрядные ЦАП данного типа с буферными усилителями на выходе, а это значит, что для их создания нужно 256, 1024 и 4096 прецизионных резисторов и ключей соответственно [2].

Руководствуясь преимуществами и недостатками характеристики делителя Кельвина, был рассмотрен способ уменьшения количества согласованных резисторов. В обычном делителе используется ряд последовательно соединенных резисторов, которые линейно и равномерно делят напряжение (входное или опорное для АЦП или ЦАП соответственно), образуя, таким образом, шкалу, как в термометре [2]. Преимущества такой шкалы очевидны. Это линейность измерений, точность в рамках цены деления, максимальное быстродействие (для преобразователей), но если нужно измерить большие величины или амплитуды колебаний с достаточно большой точностью, то возникает проблема — количество градаций на шкале. В преобразователях — это их разрядность. Итак, чтобы решить проблему с разрядностью, потребуется новый подход для получения шкалы, используя все преимущества предыдущей.

Был рассмотрен метод с использованием шкалы нониуса. Нониус — вспомогательная шкала, устанавливаемая на различных измерительных приборах и инструментах, служащая для более точного определения количества долей делений. Принцип работы шкалы основан на том факте, что глаз гораздо точнее замечает совпадение делений, чем определяет относительное расположение одного деления между другими. Шкала-нониус обычно также имеет, например, 10 делений, что и основная шкала, а по длине равна только 9 её делениям (рис. 4 а) [6]. Для электронных измерителей это означает, что нужно два набора по 10 резисторов и два источника опорного напряжения на каждый набор. Однако целесообразнее использовать один источник напряжения, как с экономической стороны, так и с технической (технологической). В таком случае шкала изменит свой вид, как показано на рис. 4 б. Это значит, что для одного источника опорного напряжения нужно разное количество резисторов на делителях напряжения. Причина изъясняется в [5] в виде задачи на нахождение максимальной площади прямоугольника с заранее

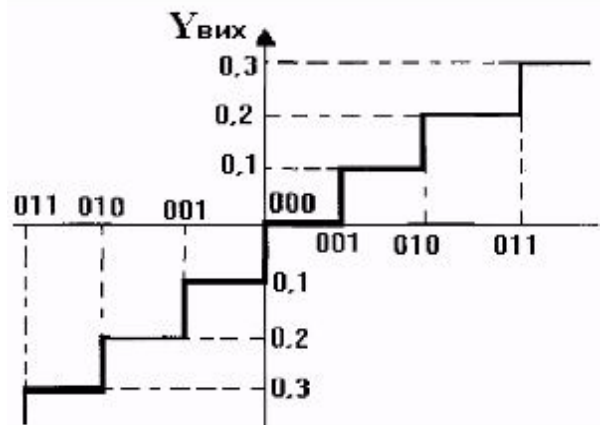


Рис. 2. Связь между входом и выходом ЦАП

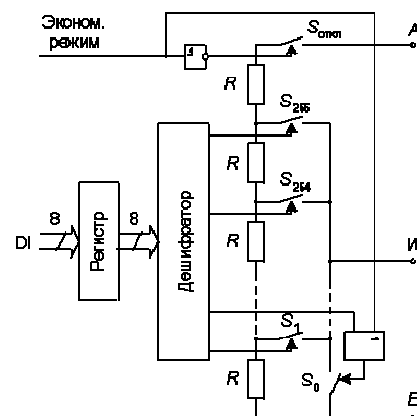


Рис. 3. Структура взвешивающего восьмиразрядного ЦАП (делитель Кельвина)

определенным его периметром, где количество первого и второго наборов резисторов будет соответственно определять длину и ширину прямоугольника. В любом случае, если первая шкала имеет цену деления x_1 , а вторая — x_2 , то единица квантования всей линейки будет определяться по формуле:

$$\Delta x = |x_1 - x_2|. \quad (1)$$

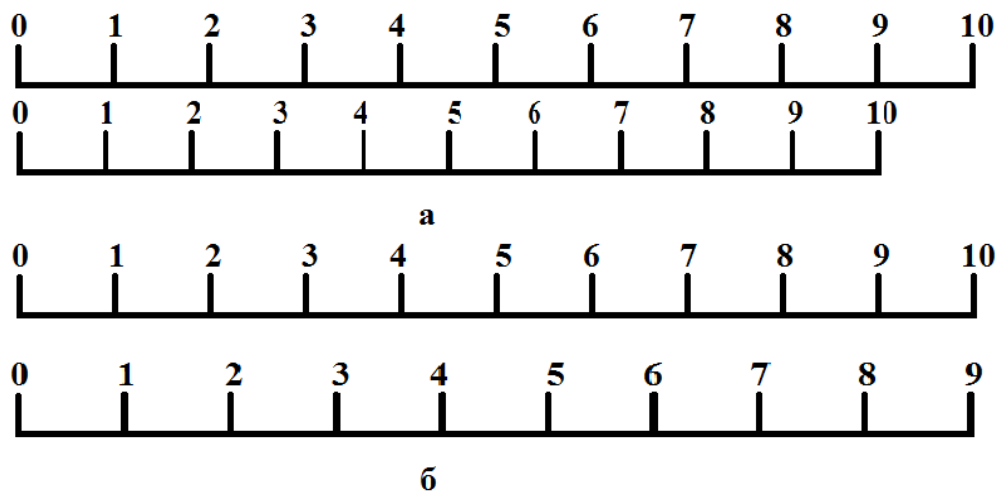


Рис. 4. Сравнение шкалы обычного нониуса и шкалы, используемой для преобразователя.

В цифро-аналоговых преобразователях такая шкала должна формироваться из двух наборов резисторов, каждый из которых делит одно и то же напряжение на разное количество делений и, получив разницу между ними по определенной кодовой комбинации обоих наборов, определяется выходное напряжение. Однако, в результате поочередного вычитания напряжений обоих наборов резисторов, не удастся определить полную линейную шкалу выходного напряжения в силу того, что общая шкала состоит из произведения количества делений обеих шкал, полученных из резистивных делителей напряжения, а поочередное вычитание даст всего значений:

$$N = \frac{(m+1) \cdot (n+1)}{2}, \quad (2)$$

где m и n ($m = n \pm 1$) количество резисторов в первом и втором наборе резисторов соответственно или используя правило суммы с комбинаторного анализа

$$N = \sum_{i=1}^n i, \quad (3)$$

где $n = m + 1$.

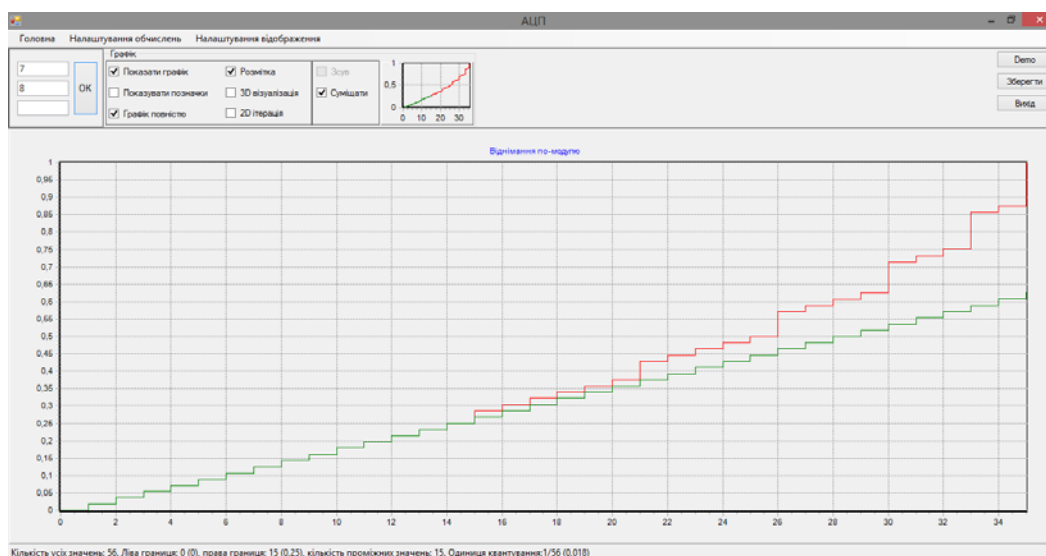


Рис. 4. Пример нелинейности значений шкалы, построенной из двух вспомогательных шкал с количеством делений 7 и 8

Единица квантования q при этом будет равна:

$$q = \frac{1}{mn}. \quad (4)$$

Очевидно, что общее количество потенциальных делений полной шкалы больше (2), поэтому определенное количество значений остается пропущенными. График такой шкалы изображен на рис. 4.

Верхняя шкала отклонилась в силу своей нелинейности — пропускания определенных значений при ее определении — от нижней, эталонной шкалы. Однако это можно исправить, определив пропущенные значения. Подробное алгоритм поиска таких значений описывается в [7].

Основной сложностью будет определение нужного цифрового кода для подачи на вход ЦАП, чтобы получить правильное выходное напряжение. Однако это решается исследованием распределения самих значений разностной матрицы напряжения относительно исходных значений каждого резистивного делителя напряжения.

Так же возможен вариант отыскания пропущенных значений применив не только метод, который описан в [7], где за основу берется вычитание показателей делителя, а наоборот — их сумму. Такой метод поможет не только упростить логику ЦАП, но и, в некотором роде, увеличит саму амплитуду возможности формирования выходного напряжения в два раза, но с гораздо меньшей точностью. Такой вариант будет лучше исследован в дальнейшем для формирования шкалы.

Выводы

Выходя из выше сказанного можно сделать следующие выводы:

- 1) при создании шкалы по методу нониуса изначально видны преимущества — шкала становится значительно точнее;
- 2) однако появляются пропуски некоторых значений в виде нелинейности;
- 3) нелинейности такого рода можно устранить, используя уже известный алгоритм;
- 4) исследуется возможность определения нужного цифрового кода для подачи на вход ЦАП, чтобы получить правильное выходное напряжение;
- 5) планируется исследовать и другие варианты борьбы с возникающей нелинейностью в ходе построения шкалы.

Таким образом, теоретически возможно представить ЦАП с более точной шкалой. Для этого достаточно иметь два цуговых ЦАП, количество градаций которого будет отличаться на единицу. Возникнувшую нелинейность в шкале можно предупредить на логическом и техническом уровнях.

В результате создания преобразователя со шкалой такого типа дифференциальная нелинейность теоретически ухудшится примерно в два раза, но зато количество ключей и резисторов уменьшится в геометрической пропорции. На данный момент про преимущества и недостатки можно говорить лишь в теоретическом разрезе. Но опираясь на подобию построения шкалы этого ЦАП с цуговым, можно прогнозировать некоторые статические и динамические характеристики. А так же планируется смоделировать работу такого преобразователя и создать рабочий прототип.

Литература

1. Классификация ЦАП [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://elteh-student.com/klassiikatsiya_tsap_17_36.html
2. Kester W. Analog-digital conversion / W. Kester. Analog Devices, Inc. — USA. — 2004. — 1138 p.
3. Научная библиотека. Справочник по цифровой схемотехнике [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://alnam.ru/book_spre.php?id=55
4. Гуляс О. Й. Вимірювання постійної напруги методом коінциденції / О. Й. Гуляс, О. П. Войтюк, І. В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Електротехнічні та радіотехнічні вимірювання. — 2011. — № 1. — С. 89 — 93.
5. Варешко В. А. О возможности линеаризации равномерной шкалы для АЦП прямого преобразования с использованием двух наборов резисторов / В. А. Варешко // Международная научно-практическая конференция “Актуальные проблемы инженерных наук в области промышленности, экологии и охраны водных ресурсов”. — Пенза, 2012. — С. 91 — 100.
6. Нониус [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нониус>
7. Варешко В. О. Повна лінійна шкала для вимірювальних перетворювачів інформації із використанням двох допоміжних шкал з різними одиницями квантування / В. О. Варешко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2014. — № 5. — С. 100 — 109.

References

1. http://elteh-student.com/klassiikatsiya_tsap_17_36.html/
2. Kester W. Analog-digital conversion / W. Kester. Analog Devices, Inc. USA, 2004, 1138 p.
3. http://alnam.ru/book_spre.php?id=55
4. Hulyas O. Y. Measuring constant voltage method of coincidence / O. Y. Hulyas, O. P. Voytyuk, I. V. Trotsyshyn // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences, 2011, Issue 1, pp. 89 — 93.
5. Varesko V. O. Possibilities linearization uniform scale for ADC direct conversion using two sets of resistor / V. O. Varesko // International scientific-practical conference “Actual problems of engineering in the field of industry, environment and protection of water resources”, Penza, 2012, pp. 91 — 100.
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нониус>
7. Varesko V. O. Complete linear scale for information measuring converter by using two supplementary scales with different quantization units, Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences, 2014, Issue 5, pp. 100 — 109.

Рецензія/Peer review : 23.1.2015 p.

Надрукована/Printed :26.1.2015 p.