

Троичный АЦП последовательного приближения по принципам Prinn'a

В литературе по электронике часто встречается схема однополярного 4-х битного двоичного инвертирующего АЦП последовательного приближения, разработанная Prinn'ом А. Е. [1,2,3], приведённая на рис.1, рис.2 и рис.3.

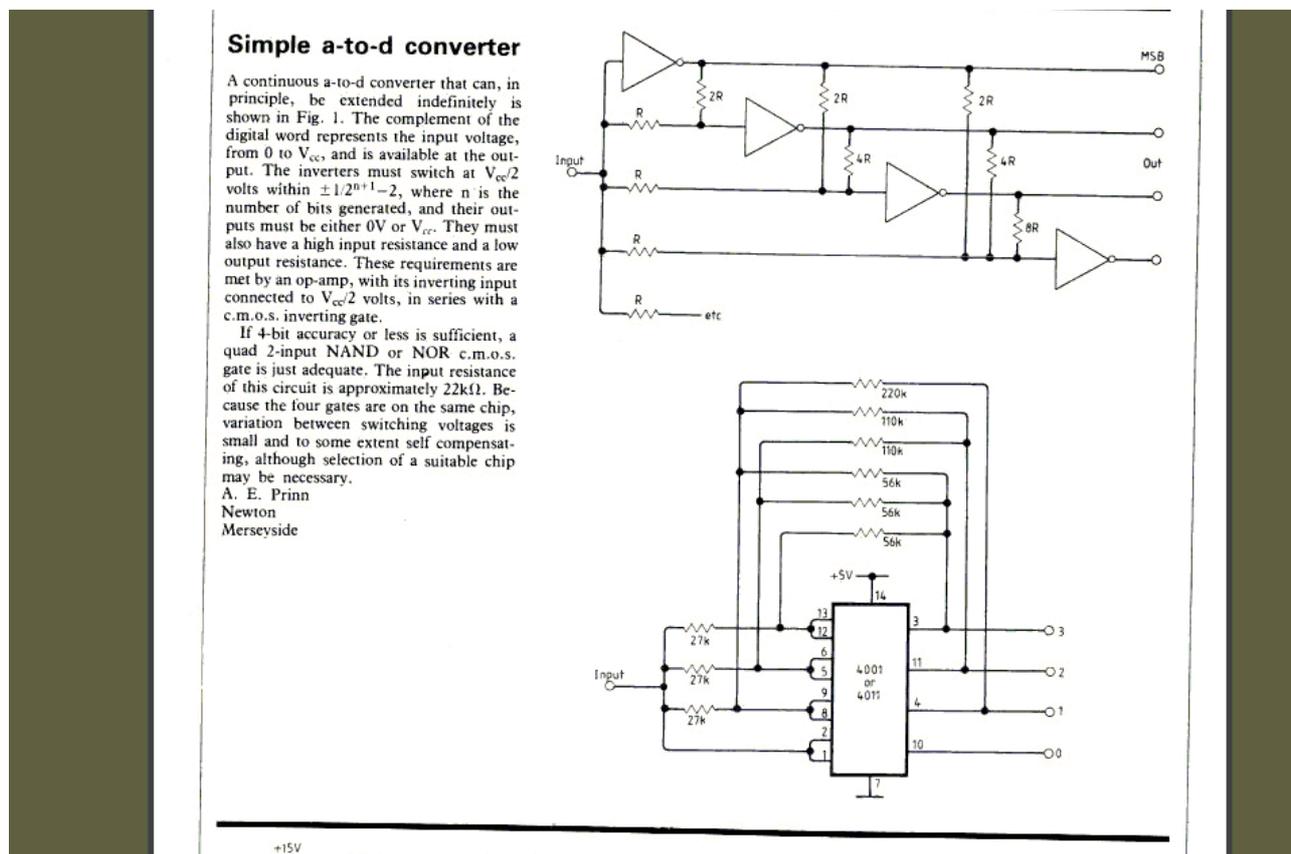
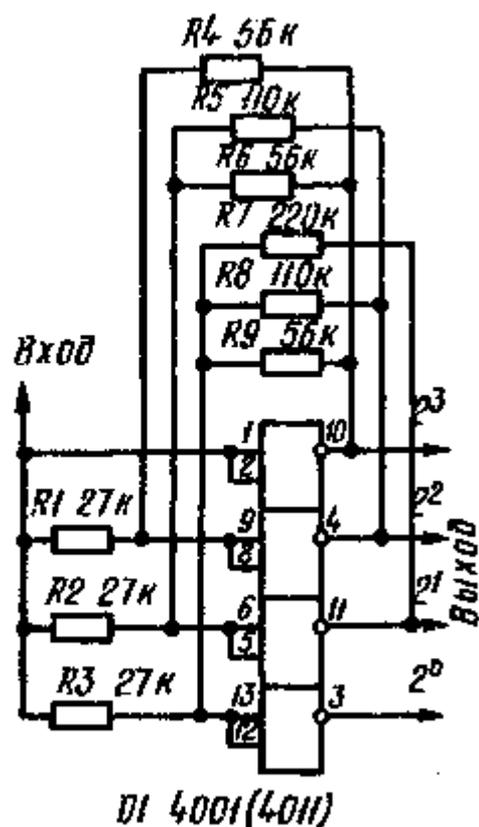
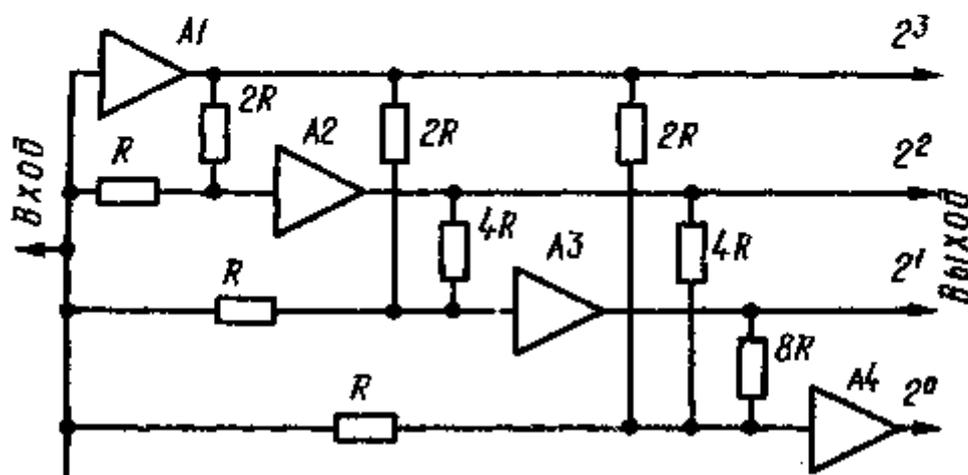


Рис. 1. Снимок страницы со схемой однополярного 4-х битного двоичного АЦП последовательного приближения в статье Prinn'a «Simple a-to-d converter» в журнале «Wireless World» (Англия) May 1981, № 1544, p.60. [1].

ПРОСТОЙ АНАЛОГОЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Простейший АЦП может быть построен по схеме, приведенной на рис. 1. Входное напряжение, которое может изменяться в диапазоне от нуля до напряжения источника питания (U_n), представляется на выходах преобразователя в параллельном дополнительном двоичном коде

Для нормальной работы АЦП инверторы-компараторы А1-А4 должны переключаться при напряжении на их входах, равном $U_n/2$ с погрешностью не более $U_n/(2^n \cdot 2)$ (n - число разрядов выходного двоичного кода), а выходные напряжения компараторов и устойчивых со-



стояниях должны быть близкими к нулю и U_n . Кроме того, компараторы должны обладать высоким входным и низким выходным сопротивлениями.

Перечисленным требованиям удовлетворяют большинство современных ОУ, инвертирующие входы которых подключены к потенциалу $U_n/2$.

Если требуется точность аналогоцифрового преобразования не превышает четырех разрядов, то в качестве основы для АЦП можно использовать счетверенные КМОП логические элементы «И-НЕ» или «ИЛИ-НЕ». Один из вариантов такого устройства представлен на рис. 2. Его входное сопротивление около 22 кОм, а время преобразования не более 300 нс.

"Wireless World"
(Англия), май, 1981, № 1544

Примечание редакции. Отечественным аналогом микросхемы 4001 является К176ЛЕ5, а 4011 - К176ПА7.

Рис. 2. Снимок страницы со схемой однополярного 4-х битного двоичного АЦП последовательного приближения Rrinn'a в статье «Простой аналогоцифровой преобразователь» в журнале «РАДИО» № 8, 1982 г. стр.61 [2].

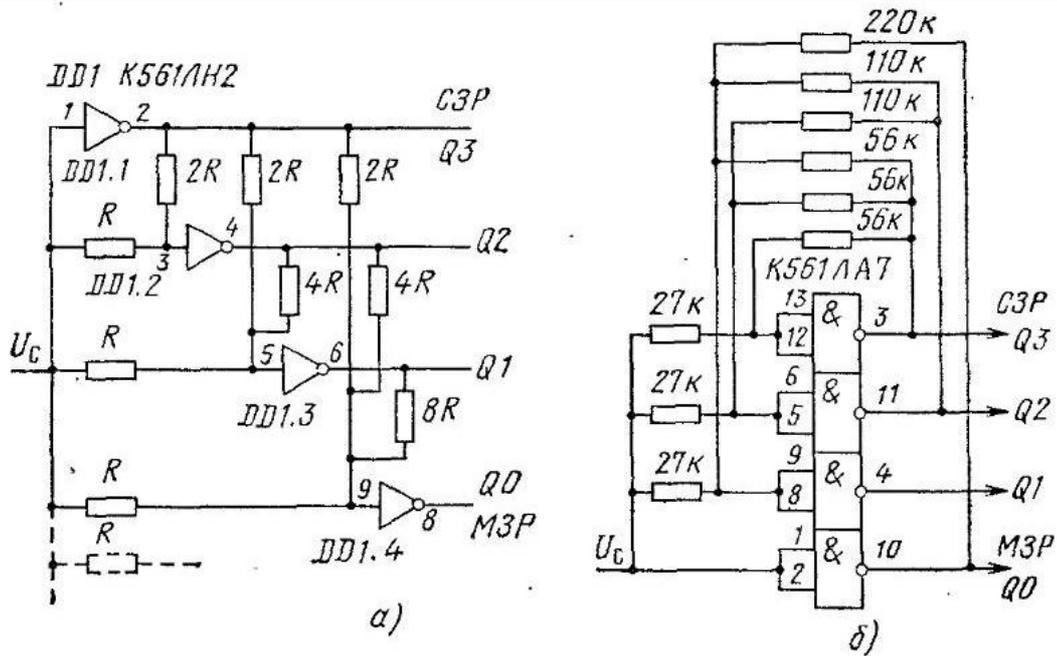


Рис. 2.22. Схемы АЦП на КМОП-инверторах:

Рис. 3. Снимок страницы со схемой однополярного 4-х битного двоичного АЦП последовательного приближения Rrinn'a в книжке Шило В. Л. Популярныe цифровые микросхемы. М.: «Радио и связь», 1987. Стр. 219, Рис. 2.22. [3]

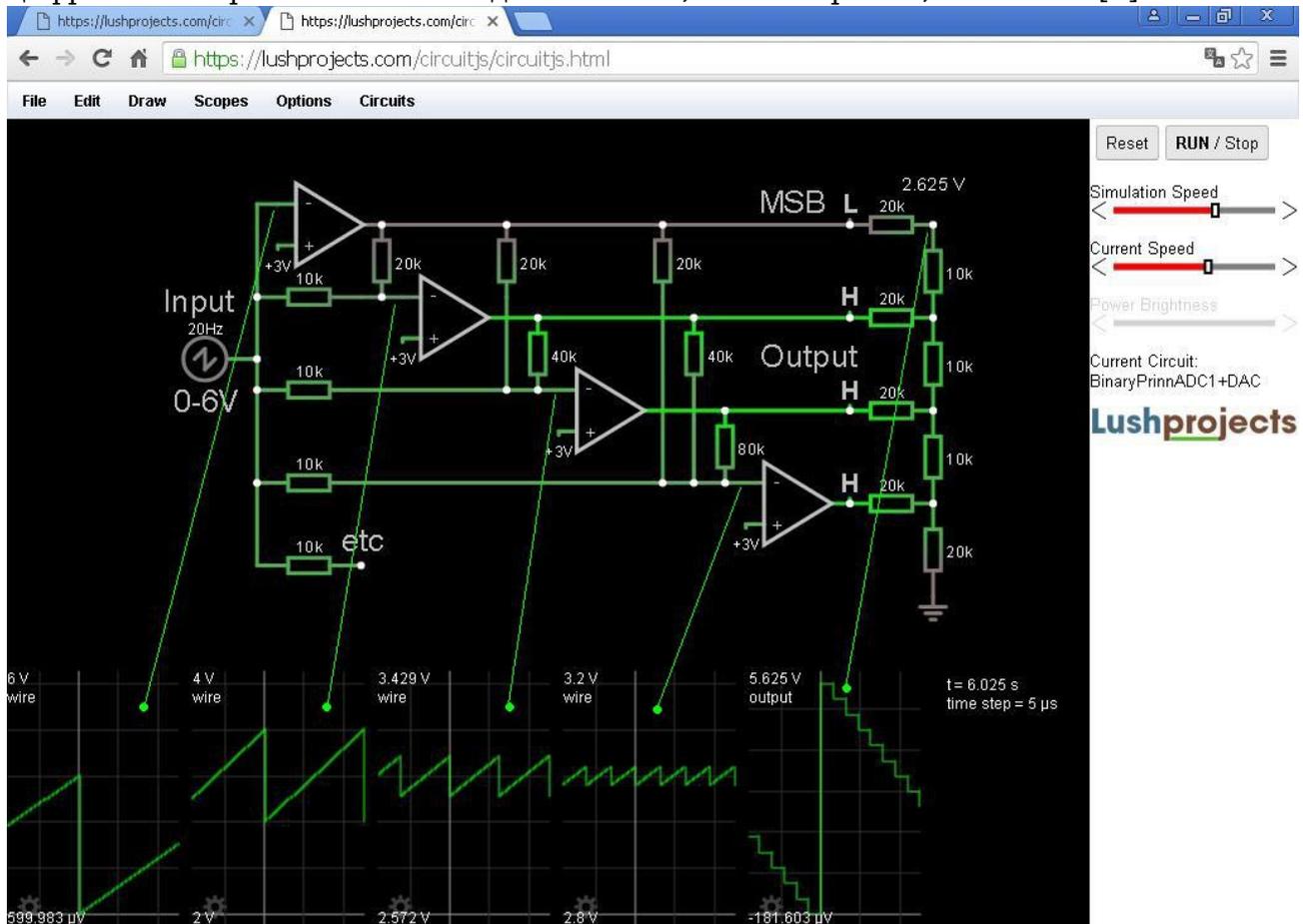


Рис. 4. Снимок модели инвертирующего двоичного АЦП последовательного приближения Prinn'a, 4-х битного, 6-ти вольтного, однополярного, с ЦАПом в онлайн HTML5-версии симулятора электронных схем Circuit Simulator.

Включить онлайн HTML5-версию Circuit Simulator с моделью:

<http://tinyurl.com/y6fx3scp>

Описание схемы двоичного АЦП последовательного приближения Prinn'a

Prinn отказался от усилителей в АЦП полностью. В схеме Prinn'a применены только компараторы. Из-за отсутствия в схеме АЦП Prinn'a усилителей входной сигнал на n-ной ступени АЦП затухает в $2^n - 1$ раз.

Удельное количество уровней дискретизации на один ОУ равно:

$16[\text{уровней дискретизации}]/4[\text{ОУ}] = 4[\text{уровня дискретизации на 1 ОУ}]$.

Недостатками схемы АЦП разработанной Prinn'ом являются:

1. Отсутствие усиления на всех ступенях АЦП, из-за чего входной сигнал на n-ной ступени АЦП затухает в $2^n - 1$ раз, что затрудняет увеличение количества ступеней (разрядов) АЦП.
2. Необходимость увеличения номиналов резисторов в 2 раза на каждой следующей ступени АЦП так же затрудняет увеличение количества ступеней (разрядов) АЦП.
3. Униполярность схемы АЦП удобна для применения в качестве компараторов логических элементов КМОП-логики (4001, 4011), но уменьшает область применения разработанного Prinn'ом АЦП.

Ещё одним существенным недостатком схемы АЦП Prinn'a является то, что, начиная со второго каскада, для каждого каскада требуется собственный сумматор весовых токов со всё более нарастающим количеством резисторов. Так, для восьмого каскада АЦП потребуется собственный сумматор весовых токов уже из 8-ми резисторов, а в интегральном исполнении резистор дороже транзистора.

К недостаткам схемы Prinn'a относится и то, что через резисторы сумматоров образуются отрицательные обратные связи в ОУ, кроме последнего, что снижает компараторные свойства каскадов на ОУ.

Таким образом, хотя схема АЦП Prinn'a и имеет некоторую значимость в теории, для практического применения она почти непригодна, особенно при количестве разрядов более 4-х.

Принципиальная разница принципов Prinn'a, применённых Prinn'ом в одноимённом двоичном АЦП прямого преобразования и принципов Куликова

Первый принцип Prinn'a:

1. Полный отказ от усилителей на всех ступенях АЦП, в целях экономии ОУ.

Первый принцип Куликова:

1. Применение усилителей на каждой ступени АЦП, а в целях экономии применение групповых усилителей для группы из двух, трёх, четырёх и более каскадов.

Второй принцип Prinn'a:

2. Полный отказ от результата смещения в предыдущих каскадах АЦП.

Второй принцип Куликова:

2. Использование результатов смещения выработанных в предыдущих каскадах АЦП и небольшая коррекция в текущем разряде результата смещения уже выработанного в предыдущих каскадах АЦП.

Третий принцип Prinn'a:

3. Применение, для смещения рабочей точки компаратора, на каждой ступени АЦП собственного ЦАПа на резисторном сумматоре весовых токов.

Третий принцип Куликова:

3. Использование для смещения рабочей точки компаратора результатов смещения на предыдущих каскадах АЦП и применение в текущем каскаде АЦП только небольшой коррекции результата смещения рабочей точки компаратора, выработанного в предыдущих ступенях АЦП.

Четвёртый принцип Prinn'a:

4. Применение для смещения рабочей точки компаратора только ЦАПов на резисторном сумматоре весовых токов.

Четвёртый принцип Куликова:

4. Применение для смещения рабочей точки компаратора, в зависимости от схемы применённого усилителя и имеющихся ключей, как ЦАПов на резисторных сумматорах весовых токов, так и ЦАПов на резисторных сумматорах напряжений, какой более удобен в данном конкретном случае.

Троичный АЦП последовательного приближения по принципам Prinn'a

Для показания возможности построения и способа построения троичного АЦП последовательного приближения по принципам Prinn'a, в нашей лаборатории была разработана модель троичного АЦП последовательного приближения по принципам Prinn'a, которая имеет некоторое теоретическое значение, но, из-за множества недостатков схемы по принципам Prinn'a, для практического применения почти непригодна, особенно при количестве разрядов более 4-х.

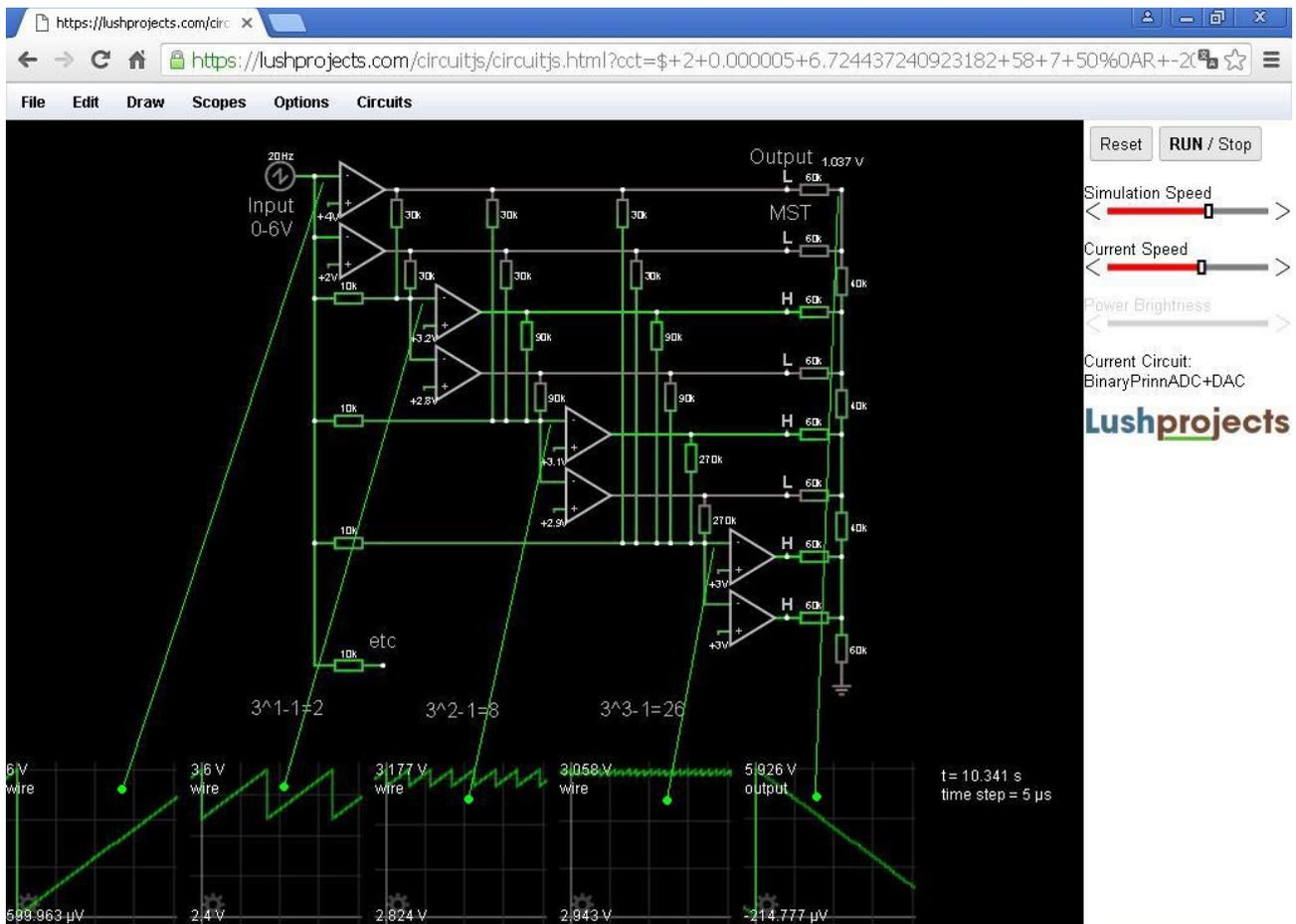


Рис. 5. Снимок модели инвертирующего троичного АЦП последовательного приближения по принципам Prinn'a, 4-х тритного, однополярного, 6-ти вольтного, с ЦАПом в онлайн HTML5-версии симулятора электронных схем Circuit Simulator.

В отличие от схемы двоичного АЦП последовательного приближения Prinn'a, в троичном АЦП последовательного приближения, кроме общего смещения рабочих точек обоих компараторов, которое изменяется при изменении величины входного напряжения, смещается и диапазон сравнения, который не зависит от величины входного напряжения, задаётся постоянными напряжениями сравнения компараторов и постоянен для каждой конкретной ступени АЦП.

На снимке видно, что напряжения сигнала на входе каждого следующего каскада сильно уменьшается и на входе четвёртого каскада составляет всего лишь около 0.12 Вольта вместо 6 Вольт на входе первого каскада.

Включить онлайн HTML5-версию Circuit Simulator с моделью:
<http://tinyurl.com/y6x8d9vm>

Скачать код модели:
http://andserkul.narod.ru/TernaryPrinn-KulikovADC_DAC_4-trit_6-VoltUnipolar.noext

Количество уровней дискретизации равно 3^n , где n - число разрядов (ступеней).

Время преобразования равно $n \cdot dt = 4 \cdot dt$, где dt — время задержки в одном ОУ.

Аппаратные затраты равны $N_{ou} = 2 \cdot n$, где N_{ou} — количество операционных

усилителей, а n - количество разрядов АЦП.

Удельное количество уровней дискретизации на один ОУ равно:

$$81[\text{уровень дискретизации}]/8[\text{ОУ}] = 10,125[\text{уровня дискретизации на 1 ОУ}].$$

Таким образом разработанный по принципам Prinn'a инвертирующий троичный АЦП последовательного приближения является самым экономичным из всех АЦП прямого преобразования и АЦП последовательного приближения, но ряд недостатков троичного АЦП последовательного приближения без усиления по принципам Prinn'a сильно ограничивает области его применения.

Значительно лучшие характеристики, чем троичный АЦП последовательного приближения построенный по принципам Prinn'a, имеет троичный АЦП последовательного приближения построенный по принципам Куликова, описанный в статье [5].

Литература:

1. [Prinn A.E. "Simple a-to-d converter". "WIRELESS WORLD", MAY, 1981, p.60.](#)
2. [«Простой аналогоцифровой преобразователь». «РАДИО» № 8, 1982 г., стр.61.](#)
3. [Шилов В. Л. Популярныe цифровые микросхемы. М.: «Радио и связь», 1987. Стр. 219, Рис. 2.22.](#)
4. [ANALOG DEVICES MT-025 TUTORIAL. ADC Architectures VI: Folding ADCs by Walt Kester.](#)
5. [Троичный АЦП последовательного приближения, двухтритный, биполярный](#)

Куликов А.С., Россия-Русь, Москва, Царицыно, версия 2019.08.13.