

**А.А.Тутышкин (асп. каф. РТТК), А.С.Коротков, д.т.н., проф.
СХЕМОТЕХНИКА КМОП-УСИЛИТЕЛЕЙ ТОКА – ТОКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

ABSTRACT: The destination and principle of operation of second generation current conveyor (CCII) are described. The classification of CMOS-realization of CCII for three groups is given. Its comparative analysis has been carried out. It has been shown that the long-tail differential pairs-based CCII has the best performances.

С увеличением степени интеграции микроэлектронных схем становится актуальной задача реализации цифровой и аналоговой частей радиоэлектронных устройств на одном кристалле. Применение технологии КМОП позволяет решить данную задачу. В то же время, тенденция к уменьшению потребляемой мощности и, как следствие, понижение напряжений питания радиоэлектронных устройств, приводит к уменьшению динамического диапазона аналоговых схем. Большинство реализуемых в настоящее время схем построены на основе операционных усилителей (ОУ). Частотный диапазон работы этих схем ограничен корректирующей цепью ОУ. Задачи повышения динамического и частотного диапазонов аналоговых устройств могут быть решены при переходе к обработке сигналов в базисе токов. Цепи, работающие в токовом базисе, имеют меньшие значения сопротивлений в узлах. Следовательно, максимальные значения напряжений на внутренних узлах схем меньше, чем при обработке сигналов в базисе напряжений. Это приводит к уменьшению нелинейных искажений и увеличению динамического диапазона. Кроме того, так как паразитные емкости заряжаются до меньших значений напряжений, увеличивается скорость обработки сигналов и, следовательно, увеличивается диапазон рабочих частот.

Обработка сигналов в токовом базисе требует соответствующей элементной базы. Токковый конвейер – схемотехнический блок, предназначенный для использования в составе устройств обработки сигналов в базисах токов и напряжений. Токковый конвейер первого поколения (CCI) был впервые предложен в 1968г., но не нашел широкого применения как самостоятельный элемент. В 1970г. был реализован токковый конвейер второго поколения (CCII) [1]. CCII функционирует в соответствии с соотношениями:

$$U_x = kU_y; I_y = 0; I_z = \pm \alpha I_x;$$

Знак «+» или «-» в выражении для тока I_z определяет тип токкового конвейера – неинвертирующий (CCII+) или инвертирующий (CCII-) соответственно. Неинвертирующим принято называть конвейер, у которого токи на выводах X и Z направлены одновременно «в» конвейер или «из» конвейера. На рис.1 приведена эквивалентная схема токкового конвейера второго поколения.

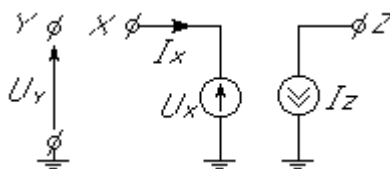


Рис.1. Эквивалентная схема CCII.

Параметрами, характеризующими CCII, являются коэффициенты передачи напряжения и тока k и α (в идеальном случае равны единице), сопротивления на выводах X и Y (в идеальном случае сопротивление на выводе Y стремится к бесконечности, сопротивление на выводе X – к нулю). В зависимости от применения CCII диапазон рабочих частот определяется по уровню -3дБ коэффициента k или α .

Эквивалентная схема CCII условно разделяется на два блока – повторитель напряжения и повторитель тока. В качестве повторителя тока в CCII+ используется

токовое зеркало. Для реализации ССП– можно использовать ССП+ с подключенным к его выводу Z простейшим токовым зеркалом. Однако, введение в схему этого элемента приводит к ухудшению характеристик ССП– по сравнению с исходной схемой ССП+ без дополнительного токового зеркала. Следовательно, для реализации прецизионных ССП– необходимо использовать более сложные схемы повторителей тока с инверсией.

Схематехнические реализации токовых конвейеров, выполненные по технологии КМОП, предлагается классифицировать по типу повторителей напряжения, входящих в их состав. Анализ архитектуры существующих ССП позволяет выделить три типа схем [2]: ССП на основе повторителя напряжения с входом на истоке МОП-транзистора (source-input voltage follower, SIVF, рис.2а), ССП на основе повторителя напряжения с входом на затворе МОП-транзистора (gate-input voltage follower, GIVF, рис.2б), ССП на основе дифференциального каскада (long-tail differential pair, LTP, рис. 2в). Аббревиатурами CM и FB на рис.2 обозначены токовое зеркало и блок обратной связи соответственно.

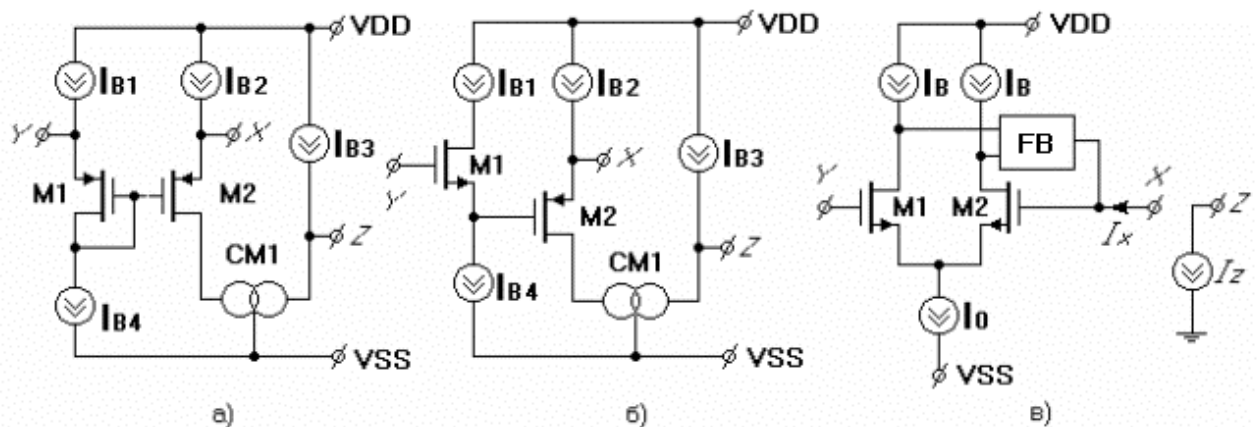


Рис.2. Архитектуры токовых конвейеров.

ССП всех трех типов имеют полосы рабочих частот порядка сотен мегагерц, что существенно превышает полосы рабочих частот ОУ. Это объясняется отсутствием в токовом конвейере каскадов с большим коэффициентом усиления. Следовательно, отсутствует необходимость в подключении цепи коррекции, которая значительно уменьшает полосу рабочих частот в ОУ. Потребляемая мощность ССП не превышает единиц милливатт. Входное сопротивление на выводе Y выше для схем GIVF и LTP, так как в данном случае это сопротивление определяется сопротивлением цепи затвора МОП-транзистора. Сопротивление на выводе X для ССП типа SIVF и GIVF составляет от десятков до сотен Ом для различных вариантов реализаций, тогда как для ССП на основе LTP типичное значение данного параметра – единицы Ом, что определяется наличием обратной связи на выводе X. Таким образом, сопоставление основных параметров ССП трех типов показывает, что наилучшим набором характеристик обладает ССП на основе LTP.

Заключение. Реализация цепей на основе КМОП-токовых конвейеров позволяет увеличить частотный диапазон усилителей и устройств на их основе до десятков-сотен мегагерц при потребляемой мощности, не превышающей потребляемой мощности ОУ. Проведенный сравнительный анализ различных структур токовых конвейеров показал, что токовые конвейеры на основе дифференциального каскада обладают наилучшими параметрами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sedra A.S., Smith K.C. A second-generation current conveyor and its applications. IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-17, pp.132-134.
2. Yodprasit U. High-precision CMOS current conveyor. Electronics letters, 2000, vol.36, No.7, pp.609-610.