

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В УСТРОЙСТВАХ НА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТАХ

Слипченко Н.И., Федотов П.Д., Федотов Д.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, кафедра Микроэлектроники электронных приборов и устройств,
тел. (057) 70-21-362, E-mail: n.slip@kture.kharkov.ua; факс (057) 702-10-13

The problems of electronic components application to the radio electronics devices are considered in this work. The aim is to justify new principles of amplification in the devices with minimum errors in transforms. Achievement of this aim is possible through the use of the original description of the amplification process, which makes it possible to take into account the dependences of the transform precision with classical schemes on the operational amplifiers not investigated earlier.

Представленные результаты исследований относятся к области электроники, микроэлектроники и рассматривают способы применения современных электронных компонент для электронных устройств. При этом устройства на операционных усилителях (ОУ) с различными признаками инверсии составляют схемотехническую основу электроники, радиоэлектроники.

Цель работы заключается в обосновании нового схемотехнического принципа формирования коэффициента усиления в устройствах с минимальными погрешностями преобразования.

Достижение указанной цели возможно при помощи способа описания процесса усиления, который позволяет учесть ранее не исследованные зависимости точности преобразования классическими схемами на ОУ, особенности построения структуры преобразовательных схем.

1 Основные положения преобразовательных схем

Существующие на практике схемы различного операционного назначения: от усиления с различным знаком, до выполнения арифметических, математических операций и преобразований или генерации сигналов заданного вида, – имеют общую структуру построения, включающую канал прямой передачи с коэффициентом $K_{\text{пр}}$ и канал обратной связи (положительной или отрицательной) с соответствующим коэффициентом $\pm K_{\text{ос}}$.

При классическом описании работы такой системы вытекает [1]:

$$U_{\text{вых}} = \frac{K_{\text{пр}}}{1 \mp K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ос}}} \cdot U_{\text{вх}}. \quad (1)$$

Из (1) коэффициент усиления по напряжению K_U составит

$$K_U = \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{пр}}} \mp K_{\text{ос}}} = \frac{1}{\Delta \mp K_{\text{ос}}} = (\mp K_{\text{ос}})^{-1}, \quad \Delta = \frac{1}{K_{\text{пр}}} \rightarrow 0. \quad (2)$$

Из описания (2) следует, что функциональное назначение схемы есть результат функционирования цепи обратной связи, составляющий основу всей схемотехники. Канал прямой передачи определяет Δ погрешность преобразования.

Естественное стремление уменьшить Δ – методическую погрешность обусловило основное назначение операционного усилителя в современных схемах: $K_{\text{ов}} = K_{\text{пр}} \rightarrow \infty$, Последнее условие не может быть достигнуто, в принципе.

Поэтому актуальной является задача уменьшения погрешности не только самого метода, но и схем на его основе.

2 Погрешности схем преобразования

Проведенные исследования [2] позволили обобщить следующие результаты:

1. Абсолютные погрешности преобразования для схем на ОУ в независимости от признака инверсии выходного сигнала, по модулю практически одинаковы.

2. Абсолютная погрешность преобразования пропорциональна квадрату установленного коэффициента усиления и обратно пропорциональна собственному коэффициенту усиления ОУ, а именно $|\Delta_a| = \frac{(K_U^+)^2}{K_U^+ + K_{oy}}$.

3. Допустимый коэффициент усиления, в пределах заданной относительной погрешности $|\Delta_{отн}|$, в схемах составляет значение $K_{U\ доп} = \frac{K_{oy} \cdot |\Delta_{отн}|}{100 - |\Delta_{отн}|}$.

4. Относительная погрешность преобразования для условия $K_U \Rightarrow K_{oy}$ составляет 50 %, поэтому максимального коэффициента усиления достичь невозможно.

5. Использование инвариантного включения входов ОУ возможно при ограниченном значении $K_{U\ доп} = \frac{K_{oy} \cdot |\Delta_{отн}|}{100 + |\Delta_{отн}|}$.

Вывод. Функциональные преобразования в схемах на ОУ целесообразно производить с минимально возможным коэффициентом усиления, однако, достижение положительного результата при $K_{III} \rightarrow \infty$ не является рациональным. Другое направление повышения точности функционирования схем на ОУ предполагает уменьшение погрешностей до нано- пико- уровня при помощи соответствующих схемотехнических решений [3]. Третий путь – фиксация коэффициента прямой передачи для заданного коэффициента усиления. В этом случае, как следует из (1),

$$K_U = \frac{K_{III}}{1 \mp K_{III} \cdot K_{OC}}, \text{ тогда } \mp K_{OC} = \frac{K_{III} - K_U}{K_{III} \cdot K_U} = \frac{1}{K_U} - \frac{1}{K_{III}} = \frac{1}{K_U} - \Delta. \quad (3)$$

Фиксированную погрешность Δ для заданного коэффициента передачи можно учесть в канале обратной связи при выборе цепи обратной связи, в которой по результатам расчета установлены «-» для ПОС; «+» для ООС.

3 Разработка принципов формирования коэффициента усиления

При выборе фиксированного значения коэффициента прямой передачи исходим из того, что минимальными погрешностями и простотой схемы характеризуются повторители напряжения. Используем их в канале прямой передачи. Очевидно (3) можно переписать также и в следующем виде:

$$K_U = \frac{1}{1 \mp K_{OC}} \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что для получения $K_U > 1$ необходимо обеспечить $K_{ПОС} < 1$ в случае ПОС, либо $K_{ООС} > 1$ в случае ООС. Вариант с положительной обратной связью более предпочтителен, поскольку коэффициент усиления влияет на погрешности в квадратичной зависимости. При этом сформировать необходимый уровень сигнала в цепи обратной связи исключительно просто, как резисторами, так и активной схемой неинвертирующего усилителя в соответствующем включении.

В случае активной цепи $K_{OC} = K_U^+ = 1 + \frac{R_2}{R_1}$, тогда из (4) непосредственно вытекает

$$K_U = \frac{1}{1 \mp K_{OC}} = \frac{1}{1 - (1 + \frac{R_2}{R_1})} = -\frac{R_1}{R_2}.$$

Для резистивной цепи обратной связи при выборе $K_{OC} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ справедлива зависимость

$$K_U = \frac{1}{1 \mp K_{OC}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}.$$

Основные практические результаты:

1. Описанный принцип формирования коэффициента усиления исключает необходимость существования схем формирования дифференциального сигнала входами операционного усилителя, поэтому K_{III} обеспечивает не обязательно ОУ, а условие $K_{III} \rightarrow \infty$ не есть определяющим. На практике целесообразно использовать $K_{III} = 1$ и естественным путем учитывать входной сигнал.

2. Коэффициент обратной связи $K_{OC} \leq 1$, поэтому точность преобразования повышается в K_U^2 раз.

3. В отличие от известного способа формирования, для которого характерно вначале существенное усиление в канале прямой передачи и последующее ограничение каналом обратной связи, отсутствуют условия для возбуждения схем.

4. В предложенном способе действие синфазной составляющей на входе исключается, как за счет пассивной компенсации напряжений влияния, так и за счет функционирования активного канала обратной связи.

5. Имеется возможность получения линейного коэффициента усиления, регулируемого заземленным элементом.

Таким образом, имеется реальная возможность повышения точности преобразования схемами на операционных усилителях, построенных на новых схемотехнических принципах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х томах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 598 с., ил.

2. Условия достижения нано-схемотехнического уровня преобразования устройствами на ОУ Слипченко Н.И., Федотов П.Д., – Сб. науч. трудов 1-й Международной конференции «Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития», МРФ-2008, т. III, Харьков-Судак 30.09–3.10.2008, – С59–62, С222–225, – Харьков, ХНУРЭ, –345с.

3. Патент України № 81087 «Спосіб формування коефіцієнта підсилення та пристрій для його здійснення» авт. Слипченко М.І., Федотов Д.О., Федотов П.Д.– публ. 26.11.2007.