

УДК 621.396.6

П.Д. Федотов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

### АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СХЕМ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

У статті розглянуті принципи функціонування схем на операційних підсилювачах, при цьому проведено аналіз впливу зовнішніх факторів на роботу схем на операційних підсилювачах.

**Ключові слова:** перетворення сигналів, операційний підсилювач, похибка перетворення, коефіцієнт підсилення, зворотній зв'язок.

#### Вступ

Створення засобів автоматизації контролю параметрів електронних компонент і, зокрема, напівпровідникових структур для сонячної енергетики є **актуальним завданням**. У своїй основі такі системи включають перетворювачі аналогових сигналів в цифровий вигляд. Розрядність існуючих АЦП сучасних контролерів забезпечує розрешувальну здатність сигналу близько  $10^9$ , тоді як потенційно досяжна погрішність класичних аналогових пристроїв не перевищує значення  $10^{-6}$ .

Для усунення такої невідповідності досліджено ряд схемотехнічних рішень, що володіють підвищеними параметрами по точності [1 – 5], оскільки відомі теоретичні положення не розкривають повною мірою процеси перетворення аналогових сигналів.

**Мета статті** – розглянути принципи функціонування схем на операційних підсилювачах, при цьому провести аналіз впливу зовнішніх факторів на роботу схем на операційних підсилювачах

#### Вплив зовнішніх факторів на каскад загального виду

Розглянемо схему рис. 1 загального виду при наявності впливу зовнішніх факторів на різних ділянках у вигляді електрорушійних сил:  $e_{зм.}$  – зміщення першого та другого входів операційного підсилювача,  $e_{др.}$  – дрейфу,  $e_{зз.}$  – зворотного зв'язку.

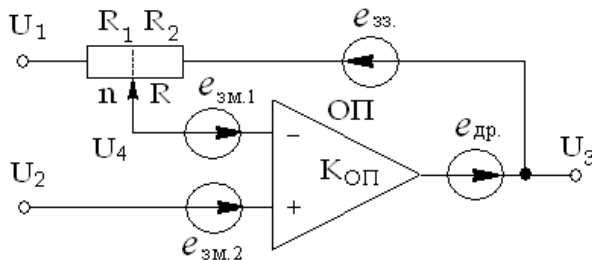


Рис. 1. Схема загального виду

Для вказаної схеми рис. 1 визначимо дію зовнішніх факторів за розрахунком коефіцієнтів перетворення.

Напряга  $U_4$  раніше встановленим правилом буде записана:

$$U_4 = n \cdot (U_3 + e_{зз.}) + (1 - n) \cdot U_1 = n \cdot U_3 + n \cdot e_{зз.} + (1 - n) \cdot U_1. \quad (1)$$

Запишем вираз напруги  $U_3$  виходу через основну властивість ОП:

$$U_3 + e_{др.} = K_{ОП} \cdot [(U_2 + e_{зм.2}) - (U_4 + e_{зм.1})];$$

$$U_3 = K_{ОП} \cdot U_2 + K_{ОП} \cdot e_{зм.2} - K_{ОП} \cdot U_4 - K_{ОП} \cdot e_{зм.1} - e_{др.} \quad (2)$$

З використанням (1) здійснимо розрахунки виразу (2):

$$U_3 = K_{ОП} \cdot U_2 + K_{ОП} \cdot e_{зм.2} - K_{ОП} \cdot n \cdot U_3 - n \cdot K_{ОП} \cdot e_{зз.} - (1 - n) \cdot K_{ОП} \cdot U_1 - K_{ОП} \cdot e_{зм.1} - e_{др.};$$

$$U_3 \cdot (1 + K_{ОП} \cdot n) = K_{ОП} \cdot U_2 + K_{ОП} \cdot e_{зм.2} - n \cdot K_{ОП} \cdot e_{зз.} - (1 - n) \cdot K_{ОП} \cdot U_1 - K_{ОП} \cdot e_{зм.1} - e_{др.};$$

$$U_3 = \frac{K_{ОП} \cdot U_2}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} + \frac{K_{ОП} \cdot e_{зм.2}}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} - \frac{n \cdot K_{ОП} \cdot e_{зз.}}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} - \frac{(1 - n) \cdot K_{ОП} \cdot U_1}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} - \frac{K_{ОП} \cdot e_{зм.1}}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} - \frac{e_{др.}}{(1 + K_{ОП} \cdot n)};$$

$$U_3 = K_{U2} \cdot U_2 + K_{зм.2} \cdot e_{зм.2} - K_{зз.} \cdot e_{зз.} - K_{U1} \cdot U_1 - K_{зм.1} \cdot e_{зм.1} - K_{др.} \cdot e_{др.} \quad (3)$$

З виразу (3) безпосередньо витікають умови перетворення з загальною методичною похибкою

$$\Delta = \frac{1}{K_{ОП}} \rightarrow 0 \text{ в розглянутому описі, а саме:}$$

$$K_{U2} = \frac{K_{ОП}}{1 + K_{ОП} \cdot n} = \frac{1}{\Delta + n} \cong \frac{1}{n} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

підсилення напруги  $U_2$ ;

$$K_{зм.2} = \frac{K_{ОП}}{1 + K_{ОП} \cdot n} = \frac{1}{\Delta + n} \cong \frac{1}{n} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

вплив зміщення входу «+»;

$$K_{зз.} = -\frac{n \cdot K_{ОП}}{(1 + K_{ОП} \cdot n)} = -\frac{n}{\Delta + n} \cong -\frac{n}{n} = -1,$$

вплив кола зворотного зв'язку;

$$K_{U1} = -\frac{(1-n) \cdot K_{OP}}{(1+K_{OP} \cdot n)} = -\frac{1-n}{\Delta+n} \cong \\ \cong -\frac{1-n}{n} = -\frac{R_2}{R_1} -$$

підсилення напруги  $U_1$ ;

$$K_{3M.1} = -\frac{K_{OP}}{1+K_{OP} \cdot n} = -\frac{1}{\Delta+n} \cong -\frac{1}{n} -$$

вплив зміщення входу «-»;

$$K_{др.} = -\frac{e_{др.}}{1+K_{OP} \cdot n} \cong -\frac{1}{K_{OP} \cdot n} = \\ = \frac{1}{K_{OP}} \cdot \frac{1}{n} = \frac{K_U}{K_{OP}} -$$

вплив дрейфових явищ.

Наслідки виразу (3) дають підставу визначити правила функціонування схем перетворення:

**Правило 1:** Усі перетворення в схемі відбуваються з єдиною, крім дрейфових явищ, методичною похибкою.

**Правило 2:** Коефіцієнти підсилення напруг входу відповідають класичним визначенням.

**Правило 3:** Вплив у колі зворотного зв'язку відбувається без підсилення.

**Правило 4:** Зміщення вхідних напруг (зсуви) сприймаються схемою, як безпосередня дія напруг входу і підсилюються відповідним чином.

**Правило 5:** Коефіцієнт впливу дрейфових явищ (процесів у вихідному колі операційного підсилювача) прямо пропорційно залежить від підсилення в схемі та обернено пропорційний власному коефіцієнту підсилення ОП.

## Висновки

За правилом 1 наявність методичної похибки створює умови виникнення абсолютної та відносної похибок з усіма відповідними наслідками, розглянутими в роботі.

Правило 2 підтверджується класичними відомими виразами для підсилення з інверсією та без інверсії – в несиметричних режимах, або забезпечує подавлення синфазної складової при посиленні корисного сигналу в симетричному включенні. Використання цього правила здійснено при розгляді схе-

мних топологій підсилювачів загального виду.

Застосування третього правила дозволить здійснити побудову нових видів підсилювачів за рахунок безпосередньої взаємодії вхідного сигналу та сигналу кола зворотного зв'язку, наприклад при створенні сумарно-різницевої схеми.

Правило 4 вказує на небажане явище впливу напруг зміщення на входах операційного підсилювача з урахуванням знаків їх дії та пояснює явища, які мають місце при формуванні симетричного та несиметричного режимів.

Практичну цінність мають наслідки п'ятого правила: прояв у вихідному колі ОП різних артефактів суттєво зменшується за рахунок коефіцієнту завантаження  $K_3 = K_U/K_{OP}$ . Стає зрозумілим, на якій підставі у повторювачах напруги не використовують балансування ОП. Дійсно,  $K_U=1$ , тоді значення коефіцієнта завантаження складе  $10^5 \dots 10^6$ .

На цій підставі дрейфові явища будуть подавлені на 100...120 дБ. При цьому слід також відмітити відсутність впливу методичної похибки перетворення для цього різновиду процесу, що видно з аналітичного опису (3).

## Список літератури

1. Хоровиц П. Искусство схемотехники: в 2-х томах. пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1983. – 598 с., ил.
2. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: пер. с англ. / С. Соклоф. – М.: Мир, 1988. – 583 с., ил.
3. Слипченко Н.И. Особенности наносхемно-техники для обеспечения нужд нанoeлектроники / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // Вторая международная НК «Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития». – Харьков-Туапсе, 2007.
4. Патент України №81087 «Спосіб формування коефіцієнта підсилення та пристрій для його здійснення», МПК H03F 3/45, H03G 3/00, бюл.№19 26.11.2007.
5. Патент України №90338 «Спосіб формування коефіцієнта перетворення схеми на операційних підсилювачах та пристрій для його реалізації (варіанти)», МПК H03F 3/45, H03G 3/00, бюл.№8 26.04.2010.

Надійшла до редколегії 28.02.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СХЕМ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

П.Д. Федотов

*В статье рассмотрены принципы функционирования схем на операционных усилителях, при этом проведен анализ влияния внешних факторов на работу схем на операционных усилителях.*

**Ключевые слова:** превращение сигналов, операционный усилитель, погрешность превращения, коэффициент усиления, обратная связь.

## THE ANALYSIS OF FUNCTIONING OF SCHEMATICS ON OPERATIONAL AMPLIFIERS

P.D. Fedotov

*The principles of functioning of schemes on operational amplifiers are considered in article, thus the analysis of influence of external factors for work of schemes on operational amplifiers is lead.*

**Keywords:** transformation of signals, the operational amplifier, an error of transformation, amplification factor, a feedback.