

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.

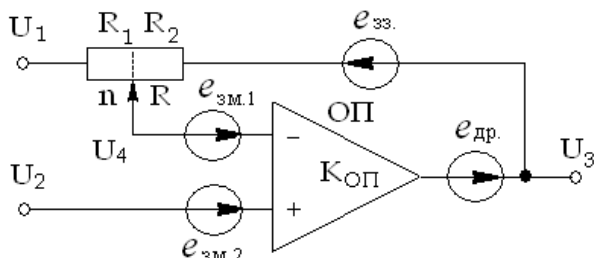


Рис. 1. Схема загального виду

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.