



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 82119

(13) C2

(51) МПК (2006)

H03G 3/00

H03F 3/45

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ЗАДАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПІДСИЛЕННЯ АКТИВНОЇ СХЕМИ НА ОПЕРАЦІЙНОМУ ПІДСИЛЮВАЧІ ТА УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ (ВАРІАНТИ)

1

(21) а200603312

(22) 27.03.2006

(24) 11.03.2008

(72) СЕМЕНЕЦЬ ВАЛЕРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA,
КРУК ОЛЕГ ЯРОСЛАВОВИЧ, UA, ФЕДОВ
ДМИТРО ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ФЕДОВ ПАВЛО
ДМИТРОВИЧ, UA(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, UA

(56) SU 571873, 19.10.1977

GB 1172506, 03.12.1969

US 3593173, 13.07.1971

US 3471794, 07.10.1969

US 3435365, 25.03.1969

(57) 1. Спосіб задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі, який полягає в тому, що вказаний коефіцієнт встановлюється відношенням опору резистора зворотного зв'язку та опору вхідного резистора прямої передачі для інвертуючого або неінвертуючого входу, який відрізняється тим, що додатково встановлюють номінали опору вхідних резисторів прямої передачі інвертуючого та неінвертуючого входів чисельно рівними власному коефіцієнту підсилення операційного підсилювача, а номіналом опору не менше одного резистора зворотного зв'язку чисельно задають значення коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі.

2. Універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через перший та другий резистори зв'язані з відповідними входами універсального

2

підсилювача, вихід якого є виходом операційного підсилювача, який через резистор зворотного зв'язку зв'язаний з інвертуючим входом операційного підсилювача, який відрізняється тим, що додатково введено аналогічний наявному другий резистор зворотного зв'язку, включений між виходом та неінвертуючим входом операційного підсилювача, при цьому на інтегральному рівні має місце одночасна чисельна відповідність номіналів опору резисторів на вході власному коефіцієнту підсилення операційного підсилювача, а номінал резисторів зворотного зв'язку чисельно дорівнює коефіцієнту підсилення універсального підсилювача.

3. Універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через відповідно перший та другий резистори підключені до першого та до другого входу універсального підсилювача, який відрізняється тим, що введено третій резистор, який підключено між інвертуючим та неінвертуючим входами операційного підсилювача.

4. Універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через відповідно перший та другий резистори підключені до першого та другого входу універсального підсилювача, третій резистор підключено між інвертуючим та неінвертуючим входами операційного підсилювача, який відрізняється тим, що виведено середню точку третього резистора, яку з'єднано з загальним проводом нульового потенціалу.

Спосіб задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі та пристрій для його реалізації (варіанти) відносяться до області електроніки, аналогової схемотехніки та можуть бути застосовані в широкому класі підсилювачів різноманітного призначення, наприклад для підсилювачів біопотенціалів, від

яких, крім високої точності перетворення, вимагають суттєвого подавлення синфазної складової вхідного сигналу.

Відомі способи задання коефіцієнта підсилення пристроїв на активних елементах, виконаних на операційних підсилювачах (ОП) за рахунок встановлення співвідношення опору

(13) C2

(11) 82119

(19) UA

елементів пасивних та активних кіл зворотного зв'язку [Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х томах. Пер. с англ. - М.: Мир, 1983. - 598 с., ил.].

Недоліками таких способів є складність визначення коефіцієнта підсилення, нелінійна його залежність та великі похибки, що призводить до низької достовірності, наприклад, в процесі визначення біопотенціалів.

Найбільш близьким рішенням до запропонованого винаходу, яке можна прийняти за прототип, є спосіб задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі, який заключається в тому, що вказаний коефіцієнт встановлюється відношенням опору резистора зворотного зв'язку та опору вхідного резистора прямої передачі для інвертуючого або неінвертуючого входу ОП.

Недоліками цього класичного способу завдання коефіцієнта підсилення є значна похибка за рахунок номіналів застосованих резисторів у колах вхідному та зворотного зв'язку, нелінійна залежність коефіцієнту підсилення пристроїв на ОП. Так, для досягнення коефіцієнту підсилення

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{або} \quad K = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{похибка } \Delta \text{ складає:}$$

$$\Delta = \frac{R_1 + R_2}{K_{OY}}, \quad \text{при цьому } R_1 \text{ визначає вхідний опір схеми, а } K_{OY} - \text{власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.}$$

Дійсно, для схеми інвертуючого підсилювача вхідної напруги U_1 вихідну напругу U_2 можна записати:

$$U_2 = U_{\text{вих}} = -K_{OY} \cdot U_{\text{диф}} = -K_{OY} \cdot \left(U_1 - \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2} \right) = -\frac{K_{OY} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1 - \frac{K_{OY} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_2;$$

$$U_2 \left(1 + \frac{K_{OY} \cdot R_1}{R_1 + R_2} \right) = -\frac{K_{OY} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1;$$

$$U_2 = K \cdot U_1;$$

$$K = -\frac{R_2 \cdot K_{OY}}{R_1 + R_2 + K_{OY} \cdot R_1} = -\frac{R_2}{\Delta + R_1}.$$

Таким чином, похибка перетворення способу-прототипу для інвертуючого підсилювача складає

$$\Delta = \frac{R_1 + R_2}{K_{OY}}.$$

Аналогічне значення похибки становить при неінвертуючому включенні ОП.

Технічною задачею винаходу є підвищення точності, створення лінійної залежності коефіцієнта підсилення, розширення функціональних можливостей.

Вказана задача досягається тим, що у способі задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі, який заключається в тому, що вказаний коефіцієнт встановлюється відношенням опору резистора зворотного зв'язку та опору вхідного резистора прямої передачі для інвертуючого або неінвертуючого входу, згідно винаходу, додатково любым чином встановлюють номінали опору вхідних резисторів прямої передачі інвертуючого та неінвертуючого входів чисельно рівними

власному коефіцієнту підсилення операційного підсилювача, а номіналом опору резисторів (резистора) зворотного зв'язку задають чисельне значення коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі.

Для реалізації цього способу потрібен новий пристрій.

Найбільш близьким за технічним рішенням до заявленого пристрою, який можна прийняти за прототип, є підсилювач [DATASHEET AD629, WWW.analog.com.], який включає операційний підсилювач, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через перший та другий аналогічні резистори зв'язані з відповідними входами підсилювача, вихід якого є виходом операційного підсилювача, який через резистор зворотного зв'язку зв'язаний з інвертуючим входом операційного підсилювача.

Додаткові резистори прив'язки входів операційного підсилювача до потенціалу шини заземлення штучно знижують власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача для вказаної мікросхеми (до $K'_{OY} \approx 20000$ замість 10^6) для розширення діапазону подавлення синфазної складової вхідного сигналу. Загальна структура схеми - інвертуючий підсилювач.

Недоліком такого технічного рішення є значна залежність попередньо заниженого коефіцієнта підсилення на точність роботи за рахунок номіналів застосованих резисторів у колах вхідному та зворотного зв'язку та схемного рішення. Як показано вище, для досягнення

$$\text{коефіцієнту підсилення } K = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{похибка}$$

$$\Delta = \frac{R_1 + R_2}{K_{OY}}.$$

Δ складає: Крім того, схема не є симетричною, що змусило розробника прототипа застосувати різні за номіналом резистори прив'язки (20кОм та 21,1кОм). Вказані обставини знижують точність перетворення, обмежують функції використання.

Технічною задачею при реалізації пристрою (вихідний варіант) є підвищення точності процесу підсилення, лінійне формування коефіцієнта підсилення і розширення функціональних можливостей.

1. Дана технічна задача вирішується таким чином. В універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через перший та другий аналогічні резистори зв'язані з відповідними входами універсального підсилювача, вихід якого є виходом операційного підсилювача, останній через третій резистор зворотного зв'язку зв'язаний з інвертуючим входом операційного підсилювача, згідно винаходу, додатково введено четвертий резистор, який підключено між виходом та неінвертуючим входом операційного підсилювача, при цьому, згідно запропонованому способу, для резисторів першого та другого входів забезпечується одночасна чисельна відповідність номіналів власному коефіцієнту підсилення операційного підсилювача, а третій та четвертий резистори

аналогічні, мають однаковий номінал, який чисельно визначає коефіцієнт підсилення.

2. Іншим варіантом виконання є універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через аналогічні відповідно перший та другий резистори підключені до першого та другого входу універсального підсилювача, згідно винаходу, введено третій резистор подвійного номіналу, який підключено між інвертуючим та неінвертуючим входами операційного підсилювача.

3. Більш доцільним варіантом пристрою є універсальний підсилювач, який включає активну схему на операційному підсилювачі, інвертуючий та неінвертуючий входи якого через аналогічні відповідно перший та другий резистори підключені до першого та другого входу універсального підсилювача, третій резистор подвійного номіналу підключено між інвертуючим та неінвертуючим входами операційного підсилювача у третьому резисторі подвійного номіналу, згідно з винаходом, виведено середню точку, яку з'єднано з загальним проводом нульового потенціалу.

На фіг.1 наведена принципова схема вихідного варіанту пристрою.

На фіг.2 зображена схема другого варіанту пристрою з формуванням коефіцієнта підсилення у вхідному колі на резисторі подвоєного номіналу.

На фіг.3 представлена схема третього варіанту пристрою з мультиплікативним подавленням синфазної складової вхідного сигналу за рахунок використання заземлення середньої точки резистора подвоєного номіналу.

Обґрунтування способу задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі, що заявляється, роботу вихідного варіанту технічного рішення можна описати за допомогою аналітичного моделювання наступним чином:

Для схеми фіг.1:

Попередньо визначим напругу входів операційного підсилювача:

$$U_4 = U_1 - \frac{(U_1 - U_3) \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_1 \cdot R_1 + U_1 \cdot R_2 - U_1 \cdot R_1 + U_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_1 \cdot R_2 + U_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2};$$

$$U_5 = U_2 - \frac{(U_2 - U_3) \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2 \cdot R_1 + U_2 \cdot R_2 - U_2 \cdot R_1 + U_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2 \cdot R_2 + U_3 \cdot R_1}{R_1 + R_2};$$

Визначимо коефіцієнт підсилення схеми:

$$U_3 = U_{\text{вих}} = K_{\text{ОУ}} \cdot (U_5 - U_4) = K_{\text{ОУ}} \cdot \left(\frac{U_2 R_2 - U_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) = \frac{K_{\text{ОУ}} R_2}{R_1 + R_2} \cdot (U_2 - U_1) = K \cdot (U_2 - U_1),$$

очевидно, що загальний K коефіцієнт підсилення може бути представленим:

$$K = \frac{K_{\text{ОУ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{\frac{R_1 + R_2}{K_{\text{ОУ}}}} = \frac{R_2}{\frac{R_1}{K_{\text{ОУ}}} + \frac{R_2}{K_{\text{ОУ}}}}.$$

На практиці R_1 - визначає вхідний опір та $K_{\text{ОУ}}$ - власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача чисельно складають $10^5 \dots 10^6$. Тому доцільно забезпечити вказану чисельну рівність $R_1 = K_{\text{ОУ}}$, в результаті чого можна уточнити загальний K коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{R_2}{1 + \Delta}, \quad \Delta = \frac{R_2}{K_{\text{ОУ}}}, \quad \text{або з похибкою} \quad K = R_2 \text{ (численно).}$$

Таким чином, згідно зі запропонованим способом, дотримуючись чисельної рівності $K_{\text{ОУ}} = R_2$, можна одержати для технічного рішення:

Мінімальну похибку перетворення, суттєву меншу ніж у прототипі конкретно i , взагалі, у

$$\frac{R_2}{K_{\text{ОУ}}} \ll \frac{R_1 + R_2}{K_{\text{ОУ}}},$$

відомих класичних схемах (Лінійно залежний загальний коефіцієнт підсилення, $K = 0 \dots K_{\text{max}}$;

- Номінал опору резистора R_2 численно визначає згаданий коефіцієнт K ;

- Прецизійний інвертуючий підсилювач при фіксації потенціалу U_2 ;

- Прецизійний неінвертуючий підсилювач при фіксації потенціалу U_1 ;

- Прецизійний підсилювач різниці $U_1 - U_2$ або $U_2 - U_1$ в залежності від порядку комутації вхідних напруг до операційного підсилювача;

Наведені переваги обґрунтовані аналітично, перевірені експериментально доказують можливість реалізації поставленої задачі.

Обґрунтування роботи варіанта універсального підсилювача схеми фіг.2:

$$U_4 = U_1 - \frac{(U_1 - U_2) \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{2U_1 \cdot R_1 + 2U_1 \cdot R_2 - U_1 \cdot R_1 + U_2 \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{U_1 \cdot R_1 + 2U_1 \cdot R_2 + U_2 \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)};$$

$$U_5 = U_2 + \frac{(U_1 - U_2) \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{2U_2 \cdot R_1 + 2U_2 \cdot R_2 + U_1 \cdot R_1 - U_2 \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{U_2 \cdot R_1 + 2U_2 \cdot R_2 + U_1 \cdot R_1}{2(R_1 + R_2)};$$

$$U_3 = U_{\text{вих}} = K_{\text{ОУ}} (U_5 - U_4) = K_{\text{ОУ}} \left(\frac{2U_2 R_2 - 2U_1 R_2}{2(R_1 + R_2)} \right) = \frac{K_{\text{ОУ}} R_2}{R_1 + R_2} (U_2 - U_1) = K (U_2 - U_1),$$

аналогічно, загальний K коефіцієнт підсилення визначається:

$$K = \frac{K_{\text{ОУ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{\frac{R_1}{K_{\text{ОУ}}} + \frac{R_2}{K_{\text{ОУ}}}}; \quad K = \frac{R_2}{1 + \Delta}, \quad 3$$

$$\Delta = \frac{R_2}{K_{\text{ОУ}}}, \quad \text{похибкою} \quad K = R_2 \text{ (численно).}$$

Крім вказаних вище переваг, слід навести для цього варіанту наступні:

- Схема виключно симетрична, що сприяє подавленню синфазної складової вхідного сигналу;

- Операційний підсилювач може бути додатково використаний для розширення функціональних можливостей за рахунок підключення інших вхідних напруг для виконання операцій додавання та/чи віднімання, інше.

Обґрунтування роботи варіанта універсального підсилювача схеми фіг.3

$$U_4 = U_1 - \frac{(U_1 - 0) R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_1 R_1 + U_1 R_2 - U_1 R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{U_1 R_2}{R_1 + R_2};$$

$$U_5 = U_2 + \frac{(U_1 - 0) R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2 R_1 + U_2 R_2 - U_1 R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2 R_1}{R_1 + R_2};$$

$$U_3 = U_{\text{вих}} = K_{OY}(U_5 - U_4) = K_{OY} \left(\frac{U_2 R_2 - U_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) = \frac{K_{OY} R_2}{R_1 + R_2} (U_2 - U_1) = K(U_2 - U_1),$$

аналогічно, загальний K коефіцієнт підсилення визначається:

$$K = \frac{K_{OY} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{\frac{R_1}{K_{OY}} + \frac{R_2}{K_{OY}}}; \quad K = \frac{R_2}{1 + \Delta}, \quad 3$$

$$\Delta = \frac{R_2}{K_{OY}}$$

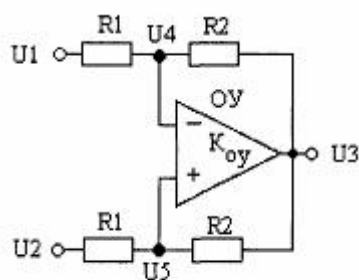
похибкою маємо $K = R_2$ (численно).

В порівнянні з прототипом розглянута схема для виконання операції інвертування вхідного сигналу ($K=-1$) повинна мати опір $R_2=1\text{Ом}$, та при $R_1=10^5 \dots 10^6\text{Ом}$ коефіцієнт подавлення синфазної складової, в гіршому випадку, складе в абсолютному вимірі 10^{-5} , або у відносному -100дБ . Крім того, подавлення операційним підсилювачем складе класичні $-60 \dots -80\text{дБ}$, тому загальне значення коефіцієнту подавлення синфазної напруги одного каскаду за рахунок мультиплікативного режиму подавлення складе $-160 \dots -180\text{дБ}$.

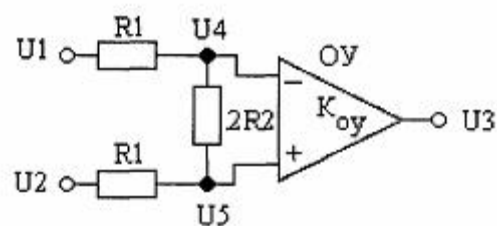
Діапазон абсолютних значень вхідних напруг з урахуванням співвідношень R_1 та R_2 може складати десятки тисяч вольт (реально - з необхідним врахуванням потужностей розсіювання на вказаних резисторах).

Таким чином, з урахуванням відмінних чинників, представлені способи задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі та варіанти запропонованих пристроїв дійсно мають суттєві переваги перед існуючими схемами на операційних підсилювачах, дозволяють досягти високої точності перетворення, лінійності коефіцієнта підсилення в межах від 0 до K_{OY} - (діапазон від $0 \dots 10^6$); мають більші функціональні можливості, дозволяють досягти найвищих показників у подавленні синфазної складової та, практично, забезпечити роботу з любыми вхідними напругами. Запропонований винахід реалізує універсальність, не досяжну відомими пристроями та схемами.

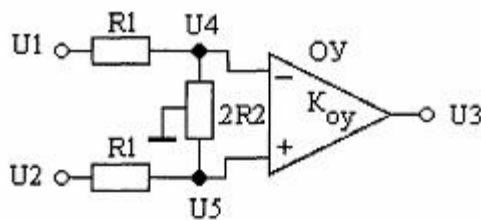
Розглянуті способи задання коефіцієнта підсилення активної схеми на ОП та варіанти запропонованих пристроїв можуть бути використані в області електроніки, як основа схемотехнічних рішень для різних напрямів застосування, наприклад для вимірювання біопотенціалів у медицині.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3