



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106837** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
H03G 3/00
H03F 3/45 (2006.01)
H03H 11/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

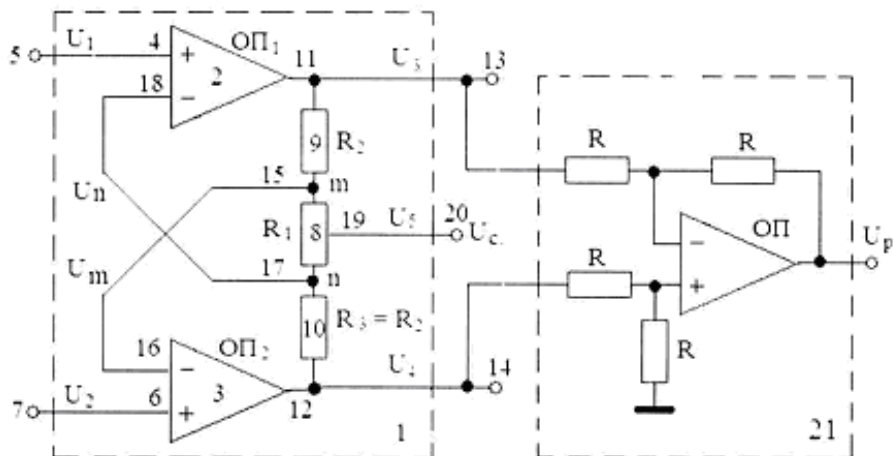
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 10884	(72) Винахідник(и): Федотов Дмитро Олексійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 09.11.2015	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2016	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2016, Бюл.№ 9	

(54) УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

(57) Реферат:

Універсальний інструментальний підсилювач містить два операційні підсилювачі, неінвертуючі входи яких з'єднані з відповідними входами інструментального підсилювача, а виходи операційних підсилювачів є виходами пристрою та поєднані між собою трьома послідовно з'єднаними резисторами, середній з яких виконано регульованим, причому інвертуючий вхід кожного операційного підсилювача зв'язано зі своїм виходом через два з трьох резисторів.



UA 106837 U

Корисна модель належить до області електроніки, радіоелектроніки. Вона стосується схемотехніки застосування операційних підсилювачів (ОП) для узгодження датчиків і чутливих елементів з радіоелектронними пристроями для функціонування приладів різноманітного призначення.

5 Відомі схеми на операційних підсилювачах: підсилення з різним знаком, виконання операцій чи перетворень заданого виду [1].

Недоліками таких схем є відсутність уніфікації схемних рішень, використання коефіцієнтів перетворення, виключно, без інверсії, або з інверсією сигналу. Це обмежує можливості аналогової схемотехніки у створенні та використанні ОП у пристроях радіоелектроніки, а

10 застосування інструментальних підсилювачів кардинально не вирішує вказану проблему.

Найбільш близьким технічним рішенням за суттю є інструментальний підсилювач, який містить два операційні підсилювачі, неінвертуючі входи яких з'єднані з відповідними входами інструментального підсилювача, а виходи операційних підсилювачів є виходами пристрою та поєднані між собою трьома послідовно з'єднаними резисторами, середній з яких виконано

15 регульованим. Інвертуючий вхід кожного операційного підсилювача зв'язаний зі своїм виходом через один з трьох послідовно з'єднаних резисторів [2].

Недоліками такого пристрою є обмежена точність функціонування, зумовлена відсутністю взаємного негативного зворотного зв'язку між каскадами та недостатня уніфікація функцій перетворення.

20 Технічною задачею корисної моделі є підвищення точності перетворення, розширення функціональних можливостей як власне самого інструментального підсилювача, так і в сукупності з наступними схемами суми чи різниці (сустрактора).

Ця задача вирішується тим, що в інструментальний підсилювач, який містить два операційні підсилювачі, неінвертуючі входи яких з'єднані з відповідними входами інструментального підсилювача, а виходи операційних підсилювачів є виходами пристрою та поєднані між собою

25 трьома послідовно з'єднаними резисторами, середній з яких виконано регульованим, згідно з корисною моделлю, інвертуючий вхід кожного операційного підсилювача зв'язано зі своїм виходом через два з трьох резисторів.

Додаткове заземлення входів пристрою забезпечує види класичних перетворень вхідних сигналів.

30 Уведений додатковий вихід пристрою, з'єднаний із середньою точкою середнього резистора забезпечує суму вхідних сигналів.

На кресленні наведена принципова схема універсального інструментального підсилювача.

35 За кресленням, універсальний інструментальний підсилювач 1 містить два ідентичні операційні підсилювачі 2-ОП₁ та 3-ОП₂, неінвертуючий вхід 4 ОП₁-2 являє собою перший вхід 5 пристрою з напругою U₁, а неінвертуючий вхід 6 ОП₂-3 в універсальному інструментальному підсилювачі 1 є другим входом 7 з напругою U₂. Послідовно з'єднані резистори 8-R₁, 9-R₂ і 10-R₃ включені між виходом 11 ОП₁-2 та виходом 12 ОП₂-3, які є виходами 13 та 14 пристрою з

40 вихідними напругами U₃ та U₄, відповідно. Спільна n-точка 15 з'єднання резисторів 8 та 9 (з напругою U_n) підключена до інвертуючого входу 16 ОП₂-3, аналогічна m-точка 17 з'єднання резисторів 9 та 10 з напругою U_m підключена до інвертуючого входу 18 ОП₂-3. Середня точка

45 резистора 9 є додатковим виходом 20 універсального інструментального підсилювача 1. За необхідності подальшого отримання різниці/суми, виходи 13 та 14 універсального інструментального підсилювача 1 з'єднуються зі входами схеми необхідної операції, наприклад класичної схеми 21 отримання різниці вхідних напруг U₃ та U₄ [2].

Роботу запропонованого універсального інструментального підсилювача 1 можна описати наступним чином.

1). Напруги U_n та U_m в подільнику на резисторах 8-R₁, 9-R₂, 10-R₃ визначаються електротехнічним розрахунком:

50
$$U_m = m \cdot U_4 + (1 - m) \cdot U_3; \quad U_n = n \cdot U_3 + (1 - n) \cdot U_4,$$

$$\text{де: } m = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_2}{R}; \quad n = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_3}{R}. \quad (1)$$

Аналогічно прототипу для уніфікації та симетрії встановимо R₃ = R₂, тоді m = n, а подальший опис проводимо відносно параметра n

$$U_m = n \cdot U_4 + (1 - n) \cdot U_3; \quad U_n = n \cdot U_3 + (1 - n) \cdot U_4,$$

2). Виконаємо розрахунок вихідної напруги U_3 .

$$U_3 = K_{on}(U_1 - U_n) = K_{on}U_1 - K_{on}nU_3 - K_{on}(1-n)U_4,$$

$$U_3(1+K_{on}n) = K_{on}U_1 - K_{on}(1-n)U_4; \quad U_3 = \frac{K_{on}}{1+nK_{on}}U_1 - \frac{K_{on}(1-n)}{1+nK_{on}}U_4;$$

У свою чергу,

5 $U_4 = K_{on}(U_2 - U_m) = K_{on}U_2 - K_{on}nU_4 - K_{on}(1-n)U_3.$

$$U_4(1+K_{on}n) = K_{on}U_2 - K_{on}(1-n)U_3; \quad U_4 = \frac{K_{on}}{1+nK_{on}}U_2 - \frac{K_{on}(1-n)}{1+nK_{on}}U_3.$$

Після підстановки виразу U_4 знаходимо напругу U_3 :

$$U_3 = \frac{K_{on}}{1+nK_{on}}U_1 - \frac{K_{on}^2(1-n)}{(1+nK_{on})^2}U_2 + \frac{K_{on}^2(1-n)^2}{(1+nK_{on})^2}U_3;$$

$$U_3 = \left(1 - \frac{K_{on}^2(1-n)^2}{(1+nK_{on})^2}\right) = \frac{K_{on}}{1+nK_{on}}U_1 - \frac{K_{on}^2(1-n)}{(1+nK_{on})^2}U_2.$$

10 Врахуємо: $\left(1 - \frac{K_{on}^2(1-n)^2}{(1+nK_{on})^2}\right) = \frac{1+2nK_{on}+n^2K_{on}^2 - K_{on}^2 + 2nK_{on}^2 - n^2K_{on}^2}{(1+nK_{on})^2} = \frac{1+2nK_{on}+K_{on}^2(2n-1)}{(1+nK_{on})^2}.$

$$\text{Тоді } U_3 = \frac{K_{on} + nK_{on}^2}{1+2nK_{on} - K_{on}^2(1-2n)}U_1 - \frac{K_{on}^2(1-n)}{1+2nK_{on} - K_{on}^2(1-2n)}U_2. \quad (2)$$

3). Після скорочення на K_{on}^2 виразу (2) та врахування методичних похибок першого та другого порядку малості, маємо:

$$U_3 = \frac{\Delta + n}{\Delta^2 + 2n\Delta - (1-2n)}U_1 - \frac{1-n}{\Delta^2 + 2n\Delta - (1-2n)}U_2, \quad \Delta = \frac{1}{K_{on}}; \quad \Delta^2 = \frac{1}{K_{on}^2} \rightarrow 0. \quad (3)$$

15 $U_3 = \frac{n}{-(1-2n)}U_1 - \frac{1-n}{-(1-2n)}U_2 = \frac{n}{2n-1}U_1 - \frac{1-n}{2n-1}U_2.$

4). Застосуємо позначення з виразу (1): $n = R_2/R$, $R = R_1 + 2R_2$, тоді

$$U_3 = \frac{R_2/R}{(2R_2/R - R/R)}U_1 - \frac{R/R - R_2/R}{(2R_2/R - R/R)}U_2 = \frac{R_2}{2R_2 - R}U_1 - \frac{R - R_2}{2R_2 - R}U_2;$$

$$U_3 = -\frac{R_2}{R_1}U_1 + \frac{R - R_2}{R_1}U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1}U_1 = U_2 + \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1) \quad (4)$$

20 5). Отже, відносно виходу 13 ОП₁₋₂ з напругою U_3 власна вхідна напруга U_1 , перетворюється з коефіцієнтом - R_2/R_1 , а протилежна U_2 - з коефіцієнтом $1 = R_2/R_1$, так, як це має місце в класичних підсилювачах з інверсією або без інверсії, що можна отримувати шляхом заземлення входів 5 чи 7.

Одночасно, згідно з виразом (4), схема забезпечує різницю вхідних сигналів, зміщену на напругу іншого входу U_2 .

25 6). Схема симетрична стосовно входів та виходів, тому за аналогією попереднього розрахунку можна записати відносно виходу 14 ОП₂:

$$U_4 = \left(1 - \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1 - \frac{R_2}{R_1}U_2 = U_1 + \frac{R_2}{R_1}(U_1 - U_2). \quad (5)$$

7). Подальше застосування різницевої схеми 21 (сустрактора [3]) дозволяє безпосередньо отримати різницю U_p вхідних напруг, у тому числі з відомим для прототипу коефіцієнтом

30 $K_U = 1 + 2R_2/R_1$ підсилення [2]:

$$U_p = U_4 - U_3 = U_1 + \frac{R_2}{R_1}(U_1 - U_2) - \left[U_2 + \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1)\right] = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot (U_1 - U_2). \quad (6)$$

8). Суматор на пасивних елементах, побудований резисторами 8, 9, 10 з виходом 20 від середньої точки 19 резистора 8- R_1 , дозволяє отримати напругу U_5 суми U_c (з урахуванням встановленої умови $R_2 = R_3$).

$$U_5 = U_c = \frac{(U_3 + U_4)}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left[U_2 - \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2) + U_1 + \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2) \right] = \frac{(U_1 + U_2)}{2}. \quad (7)$$

9). Заземлення входів $U_1 = 0$ або $U_2 = 0$ призводить до різних варіантів застосування. Можливості універсального інструментального підсилювача систематизовані у таблиці.

Таблиця

Можливості універсального інструментального підсилювача

Умови за дії вхідних напруг	Вихідні напруги		
	U_3	U_4	U_5
$U_1 \neq U_2 \neq 0$.	$(1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1$.	$(1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_1 - \frac{R_2}{R_1} U_2$.	$0,5 \cdot (U_3 + U_4)$;
	$U_2 + \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$.	$U_1 + \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2)$.	$0,5 \cdot (U_1 + U_2)$.
$U_1 = 0$.	$(1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_2$.	$-\frac{R_2}{R_1} U_2$.	$0,5 \cdot U_2$.
$U_2 = 0$.	$-\frac{R_2}{R_1} U_1$.	$(1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_1$.	$0,5 \cdot U_1$.
$U_1 = U_2 = U_{сф}$.	$U_{сф}$.	$U_{сф}$.	$U_{сф}$.
Наступні інструментальні перетворення напруг			
Різниця вхідних напруг	з підсиленням: $U_4 - U_3 = (1 + \frac{2R_2}{R_1}) \cdot (U_1 - U_2)$; $U_{сф} = 0$.		
Сума напруг	безпосередньо: $U_3 + U_4 = U_2 - U_1$.		

5

З аналітичного обґрунтування та систематизованих даних таблиці очевидна універсальність запропонованого інструментального підсилювача.

Підвищення точності перетворення пояснюється тим, що на відміну від відомої реалізації, яка, вочевидь, складає два незалежні неінвертуючі каскади з віртуальною нульовою точкою на резисторі R_1 [2], запропонований варіант задає обом каскадам спільний негативний зворотний зв'язок цьому резистору. Тому суттєво покращується функціонування всієї схеми. З'являється можливість підсилення сигналів з одночасно різними коефіцієнтами.

10

У запропонованому вигляді дане технічне рішення розширює практичні можливості електроніки, тому може бути застосованим для побудови електронних пристроїв та вузлів радіоелектронної апаратури.

15

Джерела інформації:

1. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. - М.: Мир. 1988. - 583 с. ил. (глава 5, с. 282-412).

2. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники: В 2-х т., т. 1. Изд. стереотип. - М.: "Мир", 1984. - 598 с., ил., п. 7.09. - рис. 7.19. - с. 451-454.

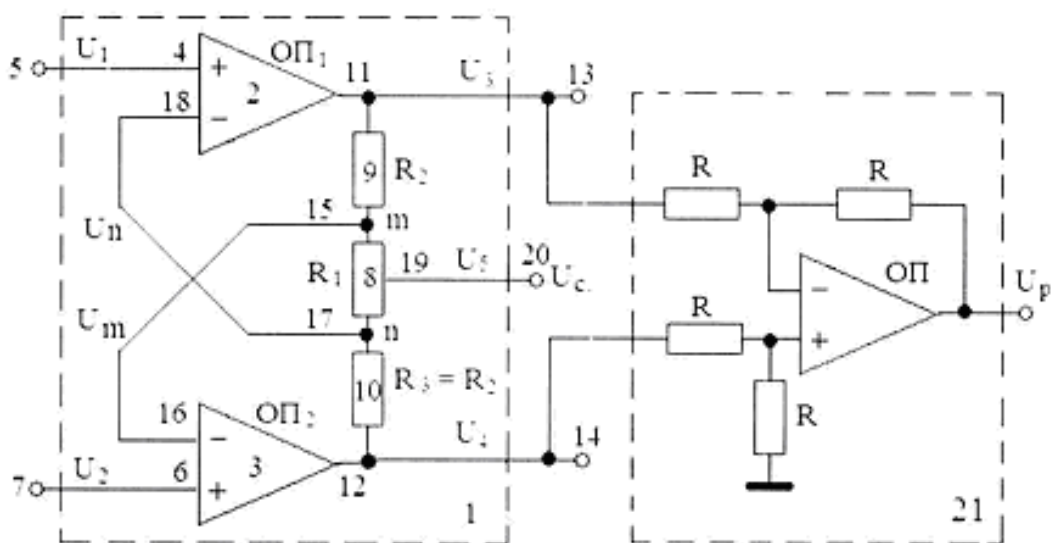
20

3. Д.О. Федотов, П.Д. Федотов, В.О. Алексеев Дослідження сустратора та схем на його основі, побудованих на операційних підсилювачах, НТЖ "Технология приборостроения" № 1. 2007. - С. 21-25.

25

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Універсальний інструментальний підсилювач, який містить два операційні підсилювачі, неінвертуючі входи яких з'єднані з відповідними входами інструментального підсилювача, а виходи операційних підсилювачів є виходами пристрою та поєднані між собою трьома послідовно з'єднаними резисторами, середній з яких виконано регульованим, який **відрізняється** тим, що інвертуючий вхід кожного операційного підсилювача зв'язано зі своїм виходом через два з трьох резисторів.
2. Універсальний інструментальний підсилювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що додаткове заземлення входів пристрою забезпечує види класичних перетворень вхідних сигналів.
3. Універсальний інструментальний підсилювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що уведений додатковий вихід пристрою, з'єднаний із середньою точкою середнього резистора, забезпечує суму вхідних сигналів.



Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601