



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **89935** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**H03F 5/00**  
**H03H 11/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2013 11526</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Сліпченко Микола Іванович (UA), Федотов Павло Дмитрович (UA), Федотов Дмитро Олексійович (UA), Крук Олег Ярославович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>30.09.2013</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.05.2014</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.05.2014, Бюл.№ 9</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</b>

**(54) БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ НАПРУГИ**

**(57) Реферат:**

Багатофункціональний підсилювач напруги складається з неінвертуючої схеми на операційному підсилювачі, неінвертуючий вхід якого є входом багатофункціонального підсилювача напруги. Інвертуючий вхід цього операційного підсилювача з'єднано через резистор  $R_1$  із загальною шиною, через резистор  $R_2$  зі своїм виходом, який є першим виходом багатофункціонального підсилювача напруги, чим створено перший незалежний канал підсилення з коефіцієнтом підсилення. Додатково введено інвертуючу схему, побудовану на резисторах  $R_3$  і  $R_4$  та додатковому операційному підсилювачі, вихід якого є другим виходом багатофункціонального підсилювача напруги. Неінвертуючий вхід додаткового операційного підсилювача з'єднано зі спільною точкою підключення резисторів  $R_1$  і  $R_2$ . Інвертуючий його вхід пов'язано через резистор  $R_3$  з виходом існуючого операційного підсилювача, а через резистор  $R_4$  з другим виходом багатофункціонального підсилювача напруги, для якого коефіцієнт підсилення становить  $K_U^{(2)} = 1 - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} = 1 - K_{U1} \cdot K_{U2}$ .

UA 89935 U



Корисна модель належить до галузі електроніки, мікроелектроніки, комп'ютерної техніки й стосуються використання операційних підсилювачів (ОП) для електронних пристроїв різноманітного призначення.

Відомі аналоги - пристрої підсилення, що складають схмотехнічну основу побудови електронних компонентів різноманітного призначення: від підсилення до виконання арифметичних, математичних операцій, перетворень чи генерації сигналів [Картер Б., Манчини Р. Операционные усилители для всех/ серия Схмотехника /пер.с англ. -М.: Додека, 2011. - 544 С, ISBN 978-5-94120-243-3, стр. 255-267]. Основу цих пристроїв становлять інвертуючі та неінвертуючі схеми.

Недоліки аналогів полягають в обмежених функціональних можливостях стосовно існуючих коефіцієнтів перетворення, а для зміни виконуваної операції необхідно змінювати схеми, оскільки, фактично, є тільки два незалежних фундаментальних аналітичних їх описів:  $K_U^+ = 1 + R_2/R_1$  та  $K_U^- = -R_2/R_1$ . Інші описи є похідними відносно наведених, у тому числі з комплексними величинами.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є підсилювач без інверсії сигналу з перетворенням  $K_U^+ = 1 + R_2/R_1$  [Джонсон М.Х. Электроника - практический курс [Текст]/ М.Х. Джонсон// М: Техносфера. 2006. - 512 С. ISBN 5-94836-086-5, стр. 128-136]. Підсилювач складено з неінвертуючої схеми на операційному підсилювачі, неінвертуючий вхід якого є входом пристрою, інвертуючий вхід з'єднано через резистор  $R_1$  з загальною шиною, а через резистор  $R_2$  з виходом існуючого операційного підсилювача, який є виходом.

Недоліком найближчого аналогу є виконання єдиної функції перетворення: підсилення з обмеженими можливостями стосовно вибору коефіцієнта підсилення.

В основу корисної моделі поставлена задача розширення функціональних можливостей пристрою підсилення зі створенням багатоваріантного коефіцієнта перетворення за вибором, а також покращення фазових та частотних показників схеми.

Поставлена задача вирішується тим, що в багатфункціональний підсилювач напруги, що складається з неінвертуючої схеми на операційному підсилювачі, неінвертуючий вхід якого є входом багатфункціонального підсилювача напруги, при тому, що інвертуючий вхід цього операційного підсилювача з'єднано через резистор  $R_1$  із загальною шиною, а через резистор  $R_2$  зі своїм виходом, який є першим виходом багатфункціонального підсилювача напруги, чим

створено перший незалежний канал підсилення з коефіцієнтом  $K_U^{(1)} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  підсилення, згідно

з корисною моделлю, додатково введено інвертуючу схему, побудовану на резисторах  $R_3$  і  $R_4$  та додатковому операційному підсилювачі, вихід якого є другим виходом багатфункціонального підсилювача напруги, неінвертуючий вхід додаткового операційного підсилювача з'єднано зі спільною точкою підключення резисторів  $R_1$  і  $R_2$ , інвертуючий його вхід пов'язано через резистор  $R_3$  з виходом існуючого операційного підсилювача, а через резистор  $R_4$  з другим виходом багатфункціонального підсилювача напруги, для якого

коефіцієнт підсилення становить  $K_U^{(2)} = 1 - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} = 1 - K_{U1} \cdot K_{U2}$ .

Таким чином виконання корисної моделі дозволяє:

40 вибором коефіцієнтів підсилення  $K_{U1}$  та  $K_{U2}$  для двох каналів забезпечувати атенюацію та/або підсилення вхідного сигналу з інверсією чи без інверсії знаку;

за умови  $K_{U1} \cdot K_{U2} < 1$  здійснювати неінвертуючу атенюацію вхідного сигналу;

за умови  $K_{U1} \cdot K_{U2} > 1$  виконувати підсилення з інверсією вхідного сигналу, а за умови  $K_{U1} \cdot K_{U2} \approx K_U$  - операцію перемноження.

45 Корисна модель пояснюється принциповою схемою багатфункціонального підсилювача напруги.

Запропонована схема багатфункціонального підсилювача напруги складається з неінвертуючої схеми 1 на операційному підсилювачі 2 (ОП-2), неінвертуючий вхід 3 якого є входом 4 багатфункціонального підсилювача зі вхідною напругою  $U_1$ . Інвертуючий вхід 5 ОП-2

через резистор  $6-R_1$  з'єднано із загальною шиною 7, а через резистор  $8-R_2$  - з виходом 9 існуючого операційного підсилювача 2 та першим виходом 10 багатофункціонального

підсилювача, який є першим незалежним каналом підсилення з коефіцієнтом  $K_U^{(1)} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  та

вихідною напругою  $U_2$ . Додатково уведено інвертуючу схему 11, побудовану на резисторах

5  $12-R_3$  і  $13-R_4$  та додатковому операційному підсилювачі 14, вихід 15 якого є другим виходом

16 багатофункціонального підсилювача, неінвертуючий вхід 17 додаткового операційного

підсилювача 14 з'єднано зі спільною точкою 18 підключення резисторів  $6-R_1$  і  $8-R_2$  з

параметром ділення  $n_1$  і напругою  $U_4$ , інвертуючий його вхід 19 в точці 20 ділення  $n_2$  з

10 напругою  $U_5$  пов'язано через резистор  $13-R_4$  з виходом 9 існуючого операційного

підсилювача 2, а через резистор  $12-R_3$  - з другим виходом 16 багатофункціонального

підсилювача, на якому діє вихідна напруга  $U_3$ . При цьому коефіцієнт підсилення на другому

виході становить  $K_U^{(2)} = 1 - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} = 1 - K_{U1} \cdot K_{U2}$ .

Робота запропонованої схеми багатофункціонального підсилювача напруги здійснюється наступним чином.

15 З врахуванням параметра ділення  $n_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  напругу  $U_4$  на вході 5 операційного

підсилювача 2 (ОП) та на вході 17 ОП-14 у точці ділення 18 можна визначити:  $U_4 = n_1 \cdot U_2$ .

Тоді відносно вхідної напруги  $U_1$  з урахуванням власного коефіцієнта підсилення

$K_{ОП} = 10^5 \dots 10^6$  операційних підсилювачів напруга  $U_2$  на виході 9 ОП-2 та першому виході 10

багатофункціонального підсилювача складе:

20 
$$U_2 = K_{ОП}(U_1 - U_4); U_2 = K_{ОП}U_1 - n_1 \cdot K_{ОП}U_2; U_2(1 + n_1 \cdot K_{ОП}) = K_{ОП}U_1; U_2 = \frac{K_{ОП}U_1}{1 + n_1 \cdot K_{ОП}}.$$

Напруга  $U_5$  на вході 19 ОП-14, та в точці ділення 20 з параметром  $n_2$ ,  $(n_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4})$ , складе:

$$U_5 = n_2 \cdot U_3 + (1 - n_2) \cdot \frac{K_{ОП}U_1}{1 + n_1 \cdot K_{ОП}}.$$

На виході 15 ОП-14 вихідна напруга  $U_3$  може бути розрахована:

25 
$$U_3 = K_{ОП}(U_4 - U_5) = K_{ОП}U_4 - K_{ОП}U_5 = K_{ОП}n_1 \cdot \frac{K_{ОП}U_1}{1 + n_1 K_{ОП}} - K_{ОП}n_2 \cdot U_3 - \frac{(1 - n_2)K_{ОП}^2 U_1}{1 + n_1 K_{ОП}};$$

$$U_3(1 + K_{ОП}n_2) = \frac{K_{ОП}^2 U_1}{1 + n_1 K_{ОП}} \cdot (n_1 - 1 + n_2);$$

$$U_3 = \frac{K_{ОП}^2 U_1}{1 + n_1 K_{ОП}} \cdot \frac{n_1 + n_2 - 1}{1 + K_{ОП}n_2} = \frac{K_{ОП}^2 U_1 (n_1 + n_2 - 1)}{1 + (n_1 + n_2)K_{ОП} + n_1 n_2 K_{ОП}^2} = \frac{U_1 (n_1 + n_2 - 1)}{\Delta^2 + (n_1 + n_2)\Delta + n_1 n_2} \cong \frac{U_1 (n_1 + n_2 - 1)}{n_1 n_2}$$

30 Очевидно, коефіцієнт підсилення для виходу 15 багатофункціонального підсилювача напруги, з урахуванням методичної похибки  $\Delta$ , якою можна в цьому випадку знехтувати,

оскільки  $\Delta = \frac{1}{K_{ОП}} = 10^{-5} \dots 10^{-6} \rightarrow 0$ ,  $\Delta^2 = 10^{-10} \dots 10^{-12} \Rightarrow 0$ ,

буде становити:

$$K_U = \frac{n_1 + n_2 - 1}{n_1 n_2}.$$

Врахування виразів для параметрів ділення  $n_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  та  $n_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$  дозволяє здійснити резистивний опис коефіцієнта підсилення:

$$K_U = \frac{\frac{R_1}{R_1 + R_2} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} - 1}{\frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}} = \frac{R_1(R_3 + R_4) + R_3(R_1 + R_2) - (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 R_3} = 1 - \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} = 1 - K_{U1} K_{U2}$$

5 де  $K_{U1} = R_2 / R_1$ ;  $K_{U2} = R_4 / R_3$ .

Як витікає з наведеного аналітичного опису, перевіреного експериментально, запропонована корисна модель дозволяє забезпечити багатофункціональність, зумовлену наявністю незалежних каналів управління з можливістю лінійного та нелінійного керування коефіцієнтом підсилення (перетворення в загальному випадку).

10 Встановлено, що корисна модель дозволяє розширити частотний діапазон та зменшити фазовий зсув для сигналів перетворення. Це досягається використанням резисторів  $R_1 \dots R_4$  (6, 8, 12, 13 на кресл. відповідно) як безінерційної мостової схеми з автоматичним підтриманням за допомогою операційного підсилювача 14 стану балансу, який, як відомо, не залежить від напруги живлення, за яку виступає вихідний сигнал неінвертуючої схеми на операційному

15 підсилювачі 2, але впливає на вихідний сигнал через зворотний зв'язок на резисторі  $6 - R_1$ .

Таким чином, багатофункціональний підсилювач напруги при реалізації надає суттєві переваги у функціонуванні та забезпеченні покращених показників і характеристик, що відповідає поставленій задачі корисної моделі.

20 Це стосується: різноманітного виконання режимів підсилення з інверсією та без інверсії, створення атенюації з різними знаками однією схемою; побудови схем перетворення із використанням реактивних елементів.

Багатофункціональний підсилювач напруги має широку область впровадження при побудові електронних пристроїв та вузлів радіоелектронної апаратури, аналогових компонентів комп'ютерних систем, розширює теоретичні положення і практичні можливості електроніки та

25 схемотехніки.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

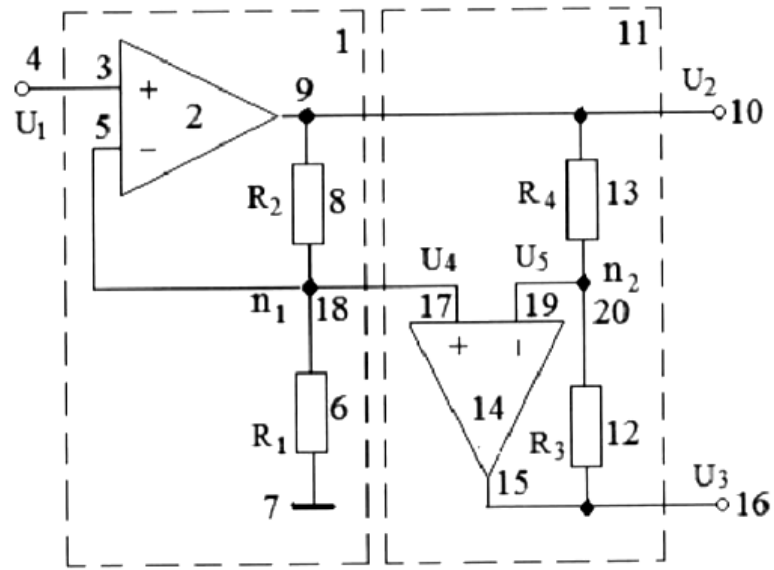
30 Багатофункціональний підсилювач напруги, що складається з неінвертуючої схеми на операційному підсилювачі, неінвертуючий вхід якого є входом багатофункціонального підсилювача напруги, при тому, що інвертуючий вхід цього операційного підсилювача з'єднано через резистор  $R_1$  із загальною шиною, а через резистор  $R_2$  зі своїм виходом, який є першим виходом багатофункціонального підсилювача напруги, чим створено перший незалежний канал

35 підсилення з коефіцієнтом  $K_U^{(1)} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  підсилення, який **відрізняється** тим, що додатково

введено інвертуючу схему, побудовану на резисторах  $R_3$  і  $R_4$  та додатковому операційному підсилювачі, вихід якого є другим виходом багатофункціонального підсилювача напруги, неінвертуючий вхід додаткового операційного підсилювача з'єднано зі спільною точкою підключення резисторів  $R_1$  і  $R_2$ , інвертуючий його вхід пов'язано через резистор  $R_3$  з виходом

40 існуючого операційного підсилювача, а через резистор  $R_4$  з другим виходом багатофункціонального підсилювача напруги, для якого коефіцієнт підсилення становить

$$K_U^{(2)} = 1 - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} = 1 - K_{U1} \cdot K_{U2}.$$



Комп'ютерна верстка І. Мироненко

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

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