



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **96370** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G01D 21/00
G06N 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

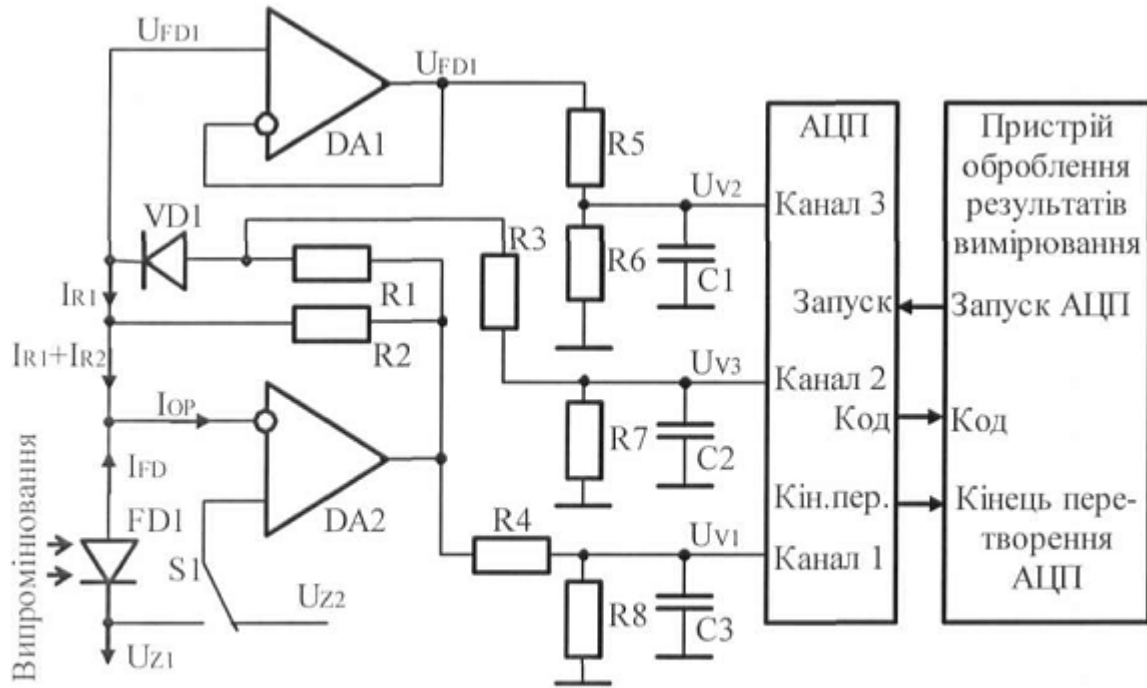
(21) Номер заявки: u 2014 04489	(72) Винахідник(и): Рощупкін Олексій Юрійович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.04.2014	(73) Власник(и): Рощупкін Олексій Юрійович, вул. Гастелло, 1/12, м. Чернівці, 58001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.02.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2015, Бюл.№ 3	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(57) Реферат:

Пристрій для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання складається з послідовно з'єднаних фотодіода, першого операційного підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та обчислювального пристрою оброблення результатів вимірювання, а також автономного джерела живлення, що живить перелічені вузли. Перший операційний підсилювач ввімкнений як підсилювач струму. В схему введено перемикач, вихід якого підключено до неінвертуючого входу першого операційного підсилювача, напівпровідниковий діод і резистор, з'єднані послідовно та ввімкнені паралельно резистору зворотного зв'язку першого операційного підсилювача таким чином, що катод напівпровідникового діода підключений до аноду фотодіода, а також повторювач напруги на другому операційному підсилювачі. Входи перемикача підключені до землі фотодіода та до додатного живлення операційних підсилювачів. До виходів операційних підсилювачів та до точки з'єднання анода напівпровідникового діода і резистора підключені входи трьох резисторних подільників напруги, виходи яких підключені до входів комутатора вхідних сигналів аналого-цифрового перетворювача.

UA 96370 U



Фіг. 1

Схема вимірювальної частини пристрою для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання

Корисна модель належить до галузі вимірювальної техніки, зокрема до вимірювання фізичних величин з допомогою сенсорів (давачів, первинних вимірювальних перетворювачів), зокрема вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання з допомогою фотодіодів.

5 Інтенсивність ультрафіолетового випромінювання вимірюється з допомогою різного виду сенсорів, однак на сьогодні найбільш перспективними вважаються спеціалізовані фотодіоди [1]. Вони мають, згідно [2], потрібну в даному випадку спектральну характеристику (при роботі в режимі короткого замикання), досить велику чутливість і стабільність, низьку ціну та прийнятні інші параметри. Але, при побудові прецизійних вимірювачів інтенсивності ультрафіолетового
10 випромінювання, проявляється їх недолік - відносно великий розкид функцій перетворення (ФП) [3]. Основним методом боротьби з таким недоліком є перехід до індивідуальних ФП [4]. Для фотодіодів перехід до індивідуальних ФП утруднений відносно великим температурним коефіцієнтом генерованого струму [2].

15 Слід відзначити, що вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання дуже часто необхідно проводити на різноманітних віддалених об'єктах, тому відповідні пристрої найчастіше мають автономне живлення, від батареї або акумулятора. Це накладає досить жорсткі обмеження на їх структуру та допустимі схемотехнічні рішення.

В [5] запропоновано проводити корекцію температурного впливу на ФП фотодіода, однак таке рішення має два недоліки: а) невисоку точність методу корекції; б) наявність різниці
20 температур між кристалом фотодіода та сенсором температури (напівпровідниковим діодом, розміщеним в корпусі фотодіодного сенсора). Недолік б) пов'язаний з тим, що зміна температури (нагрів) фотодіода здійснюється під впливом самого ультрафіолетового випромінювання. Тому, при використанні технічного рішення [5], між фотодіодом та сенсором його температури обов'язково існує перепад температур, пов'язаний з неідеальним тепловим
25 контактом між сенсорами та інерційністю теплових процесів. В зв'язку з цим, похибка вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання з допомогою фотодіодів при запропонованій в [5] корекції температурного впливу залишається високою.

У [6] запропоновано проводити корекцію температурного впливу на фотодіодний сенсор за результатами вимірювання температури саме кристалу фотодіода, тобто використати фотодіод
30 як діодний сенсор власної температури. В такому випадку похибка, пов'язана з різницею температури кристала фотодіода та сенсора температури відсутня. Однак тоді фотодіод стає багатопараметричним сенсором [7], вхідними величинами якого є інтенсивність ультрафіолетового випромінювання та температура, а вихідними величинами - струм короткого замикання фотодіода та спад напруги на фотодіоді при проходженні струму.

35 Перехід до індивідуальної ФП для багатопараметричних сенсорів вимагає її ідентифікації, що, в свою чергу, вимагає великого об'єму експериментальних досліджень. Однак "Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора" [8] дає змогу, за рахунок прогнозу більшості результатів експериментальних досліджень, різко зменшити їх об'єм для багатопараметричних сенсорів при переході до індивідуальної ФП, що створює сприятливі передумови до значного підвищення точності вимірювання інтенсивності
40 ультрафіолетового випромінювання.

Прототипом пропонованого пристрою є пристрій, описаний в [5]. Його недоліком, як було вже сказано, є те, що сенсори температури та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання - це різні сенсори. Це веде до виникнення похибки корекції температурної
45 залежності ФП сенсора інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, яку дуже важко зменшити.

Задачею корисної моделі є створення пристрою вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання високої точності з автономним живленням від одного джерела електричної енергії - батареї або акумулятора, де роль сенсорів температури та
50 інтенсивності ультрафіолетового випромінювання грає один сенсор - фотодіод.

Пропонований пристрій для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання складається з послідовно з'єднаних фотодіода, першого операційного підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та обчислювального пристрою оброблення результатів вимірювання
55 фотодіода в режимі короткого замикання перший операційний підсилювач ввімкнений як підсилювач струму. Живляться перелічені вузли від автономного джерела - батареї або акумулятора.

Суть корисної моделі полягає в тому, що в схему пристрою введено перемикач, напівпровідниковий діод, резистор, повторювач напруги на другому операційному підсилювачі
60 та три подільники напруги на резисторах. Вихід перемикача підключено до неінвертуючого

входу першого операційного підсилювача, а його два входи - до землі фотодіода та до додатного живлення операційних підсилювачів. Напівпровідниковий діод і резистор з'єднані послідовно, при цьому катод напівпровідникового діода підключений до аноду фотодіода, а вільний вихід резистора - до виходу першого операційного підсилювача (послідовно з'єднані

5 діод і резистор виявляються ввімкнені паралельно резистору зворотного зв'язку першого операційного підсилювача). Три згадані подільники напруги підключені до виходів операційних підсилювачів та до точки з'єднання анода напівпровідникового діода і резистора. Виходи цих подільників напруги підключені до входів комутатора вхідних сигналів аналого-цифрового перетворювача.

10 В свою чергу автономне джерело живлення пристрою для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання містить батарею або акумулятор, від'ємний вихід яких підключено до виводів від'ємного живлення операційних підсилювачів і землі аналого-цифрового перетворювача та обчислювального пристрою оброблення результатів вимірювання. Додатний вихід батареї або акумулятора підключено до виводів додатного живлення операційних підсилювачів та входу прецизійного стабілізатора напруги. Вихід останнього підключено до живлення мікроконвертора (що містить аналого-цифровий перетворювач і пристрій оброблення результатів вимірювання). Також вихід стабілізатора напруги підключено до входу опорної напруги аналого-цифрового перетворювача, а також він служить землею для фотодіода та операційних підсилювачів.

20 Таке поєднання елементів дає змогу створити прецизійний пристрій вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, де роль сенсорів температури та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання грає один сенсор - фотодіод, що дозволяє ефективно використати нейромережевий спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора. [8]. При цьому живлення пристрою має просту схему та реалізовано від одного автономного джерела електричної енергії - батареї або акумулятора.

Робота пристрою ілюструється принципово-функціональними схемами, представленими на фіг. 1 і 2.

30 На фіг. 1 представлено принципово-функціональну схему вимірювальної частини пропонованого пристрою вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання. В його склад входять фотодіод FD1, операційні підсилювачі DA1, DA2, струмозадаючий резистор R1, резистор зворотного зв'язку R2, перемикач S1, напівпровідниковий діод VD1, та три подільники напруги - перший, на резисторах R4, R8, другий, на резисторах R3, R7, та третій, на резисторах R5, R6. На виходах подільників Uv1, Uv2, Uv3, підключених до входів аналого-цифрового перетворювача АЦП, для зменшення рівня високочастотних завад, ввімкнені конденсатори C1, C2, C3. Вхід "запуск" АЦП, виходи "кінець перетворення" та "код" (результат перетворення) підключені до входів пристрою оброблення результатів вимірювання.

35 При вимірюванні струму I_{FD1}^{KZ} короткого замикання фотодіода FD1 перемикач S1 знаходиться в положенні, протилежному до представленого на фіг. 1. При цьому операційний підсилювач DA2 працює як підсилювач вихідного струму I_{FD1} фотодіода FD1. В коло зворотного зв'язку DA2 ввімкнено резистор зворотного зв'язку R2. Через те, що тоді на виході DA2 буде напруга від'ємна відносно землі U_{z1} фотодіода FD1, напівпровідниковий діод VD1 буде запертий, тому струмозадаючий резистор R1 не буде впливати на роботу схеми. Повторювач напруги на операційному підсилювачі DA1 має великий вхідний опір, тому він також не буде впливати на роботу схеми. Вихідна напруга U_{v1} операційного підсилювача DA2, через перший подільник напруги (на резисторах R4, R8), надходить на канал 1 АЦП, який перетворює її в код. За результатами перетворення АЦП напруги U_{v1} струм I_{FD1}^{KZ} фотодіода FD1 можна визначити з формули

$$\frac{I_{FD1}^{KZ} \cdot R2 \cdot R8}{R4 + R8} = U_{v1} \cdot (1)$$

50 Перетворивши (1), отримаємо

$$I_{FD1}^{KZ} = \frac{U_{v1} \cdot (R4 + R8)}{R2 \cdot R8} \cdot (2)$$

При вимірюванні температури фотодіода FD1 перемикач S1 знаходиться в положенні, представленому на фіг. 1. При цьому операційний підсилювач DA2 буде насичений, на його виході буде напруга близька до додатної напруги живлення U_{z2} . В такому випадку напівпровідниковий діод VD1 буде відкритий і через фотодіод FD1 буде протікати струм, який задається резисторами R1 і R2. Струм через FD1 можна визначити як суму струмів I_{R1} і I_{R2} через резистори R1 і R2 за результатами перетворення в код вихідних напруг U_{v1} , U_{v3} операційних

підсилювачів DA1, DA2 (з врахуванням коефіцієнтів поділу першого подільника, на резисторах R4, R8, та третього, на резисторах R5, R6) каналами 1 і 3 АЦП. Струм I_{R1} через R1, опір якого відомий, можна визначити за різницею напруг U_{DA2} (на виході операційного підсилювача DA2) та U_{AVD1} (на аноді напівпровідникового діода VD1). В свою чергу U_{DA2} можна визначити з формули

$$5 \quad \frac{U_{DA2} \cdot R8}{R4 + R8} = U_{V1}. \quad (3)$$

Перетворивши (3), отримаємо

$$U_{DA2} = \frac{U_{V1} \cdot (R4 + R8)}{R8}. \quad (4)$$

Аналогічно, U_{AVD1} можна визначити з формули

$$\frac{U_{AVD1} \cdot R7}{R3 + R7} = U_{V3}. \quad (5)$$

10 Перетворивши (5), отримаємо

$$U_{AVD1} = \frac{U_{V3} \cdot (R3 + R7)}{R7}. \quad (6)$$

Тоді струм I_{R1} через R1 буде

$$I_{R1} = \frac{U_{V1} \cdot (R4 + R8)}{R1 \cdot R8} - \frac{U_{V3} \cdot (R3 + R7)}{R1 \cdot R7}. \quad (7)$$

15 Струм I_{R2} через R2, опір якого теж відомий, можна визначити за різницею напруг U_{DA2} (на виході операційного підсилювача DA2) та U_{FD1} (на аноді фотодіода FD1). В свою чергу U_{DA2} вже визначено в (4), а U_{FD1} можна визначити з рівності $U_{FD1} = U_{DA1}$ та з формули

$$\frac{U_{DA1} \cdot R6}{R5 + R6} = U_{V2}. \quad (8)$$

Перетворивши (8), отримаємо

$$U_{FD1} = \frac{U_{V2} \cdot (R5 + R6)}{R6}. \quad (9)$$

20 Тоді струм I_{R2} через R2 буде

$$I_{R2} = \frac{U_{V1} \cdot (R4 + R8)}{R2 \cdot R8} - \frac{U_{V2} \cdot (R5 + R6)}{R2 \cdot R6}. \quad (10)$$

Струм I_{FD1} через фотодіод FD1 рівний сумі струмів резисторів R1, R2

$$I_{FD1} = \frac{U_{V1} \cdot (R4 + R8)}{R1 \cdot R8} - \frac{U_{V3} \cdot (R3 + R7)}{R1 \cdot R7} + \frac{U_{V1} \cdot (R4 + R8)}{R2 \cdot R8} - \frac{U_{V2} \cdot (R5 + R6)}{R2 \cdot R6}. \quad (11)$$

25 Слід відзначити, що напруги на виходах операційних підсилювачів DA1, DA2 будуть вищими за напругу U_{z1} , тобто вищими за напругу живлення АЦП. Підключені до їх виходу подільники напруги дають змогу привести напруги на виходах операційних підсилювачів DA1, DA2 до рівня, прийняттого для АЦП (хоча і дещо зменшують чутливість схеми).

Через те, що напруга живлення операційних підсилювачів DA1, DA2 визначається напругою батареї або акумулятора, яка міняється в процесі експлуатації (проходить розряд), струми через R1 і R2 не будуть стабільними. Тому в схемі фіг. 1 передбачено їх визначення за результатами аналого-цифрового перетворення згідно (3) ... (11). Однак чутливість фотодіода FD1 по температурі залежить від струму через нього і є індивідуальною. Тому запропоновано ще раз використати нейромережевий Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора [8] для підвищення точності вимірювання температури кристала фотодіода FD1. Тоді щодо вимірювання температури фотодіод FD1 стає багатопараметричним сенсором [7], вхідними величинами якого є його температура та індивідуальний температурний коефіцієнт спаду напруги, а вихідними величинами - значення струму, що проходить через фотодіод FD1 та спад напруги на ньому.

40 В такому випадку, при визначенні індивідуальної ФП фотодіода FD1, необхідно провести два експерименти: а) визначити залежність спаду напруги на фотодіоді від його температури та від струму через нього; б) визначити залежність струму короткого замикання фотодіода від ультрафіолетового випромінювання та від його температури. За результатами цих експериментів необхідно, згідно способу [8], навчити дві нейронні мережі: 1) яка буде визначати температуру фотодіода за спадом напруги на ньому та струмом через нього; 2) яка буде визначати інтенсивність ультрафіолетового випромінювання за струмом короткого замикання фотодіода та його температурою. Для цього при навчанні нейронних мереж необхідно відповідним чином переставити результати експериментів згідно пп. а і б, щоби при навчанні на вхід кожної нейронної мережі надходили дані, визначені в пп. 1, 2 як вхідні, а на вихід, для порівняння, подавалися дані, визначені в пп. 1, 2 як вихідні.

На фіг. 2 представлено принципово-функціональну схему блока живлення пропонуваного пристрою. В його склад входять акумулятор або батарея АДЖ, стабілізатор 5В та конденсатори С4 і С5. Від'ємний вивід АДЖ служить землею для стабілізатора та мікроконвертора, куди входять АЦП та пристрій оброблення результатів вимірювання, а також до виводу від'ємного живлення операційних підсилювачів DA1 і DA2. Додатний вивід АДЖ Uz2 підключений до виводів додатного живлення операційних підсилювачів DA1 і DA2.

Вихідна напруга стабілізатора Uz1 не залежить від розряду АДЖ. Тому АЦП та пристрій оброблення результатів вимірювання працюють в штатних умовах. Ця напруга також служить опорною напругою для АЦП, тому стабілізатор 5В повинен мати малий температурний коефіцієнт та хорошу часову стабільність. Таким є, наприклад, стабілізатор ADP3367 фірми Analog Devices [10].

Пропонуваний пристрій забезпечує високу точність вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання за рахунок переходу до індивідуальної ФП фотодіода та високої точності корекції його температурної похибки. Він може бути використаний в лікарській практиці, при проведенні процедур, де дія ультрафіолетового випромінювання має бути строго дозована. Також він може бути використаний для перевірки та калібрування вимірювачів інтенсивності ультрафіолетового випромінювання нижчої точності. Автономне живлення робить пристрій гнучким у вжитку, тому перевірка та калібрування інших вимірювачів можлива в польових умовах.

Джерела інформації:

1. Si Photodiodes. Selection Guide [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/si_pd_kspd0001e07.pdf.

2. Opto-Semiconductor Handbook Chapter02/Si/Photodiode [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/e02_handbook_si_photodiode.pdf

3. Удалов Н.П. Полупроводниковые датчики [Текст] / Н.П. Удалов. - М.; Л.: Энергия, 1965.- 239 с.: ил.

4. Саченко А.А., Твердый Е.Я. Совершенствование методов измерения температуры. - К.: Техніка, 1983. - 104 с.

5. ST120 Dual Silicon Based Thermopile Detector [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: <http://www.dexterresearch.com/?module=Page&slD=st120-dual>

6. Григорий Зеленов. Измерение температуры р-п-переходом. // Практическая электроника № 2, 2007.

7. Turchenko I. Accurate Recognition of Multi-Sensor Output Signal Using Modular Neural Networks / Turchenko I., Kochan V., Sаченко А. // International Journal of Information Technology and Intelligent Computing. - 2007. - Vol. 2, No. 1. - P. 27-47.

8. Рошупкін О.Ю., Кочан В.В., Саченко А.О. Заявка про видачу патенту України на винахід № а2011113840; подано 24.11.2011. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора.

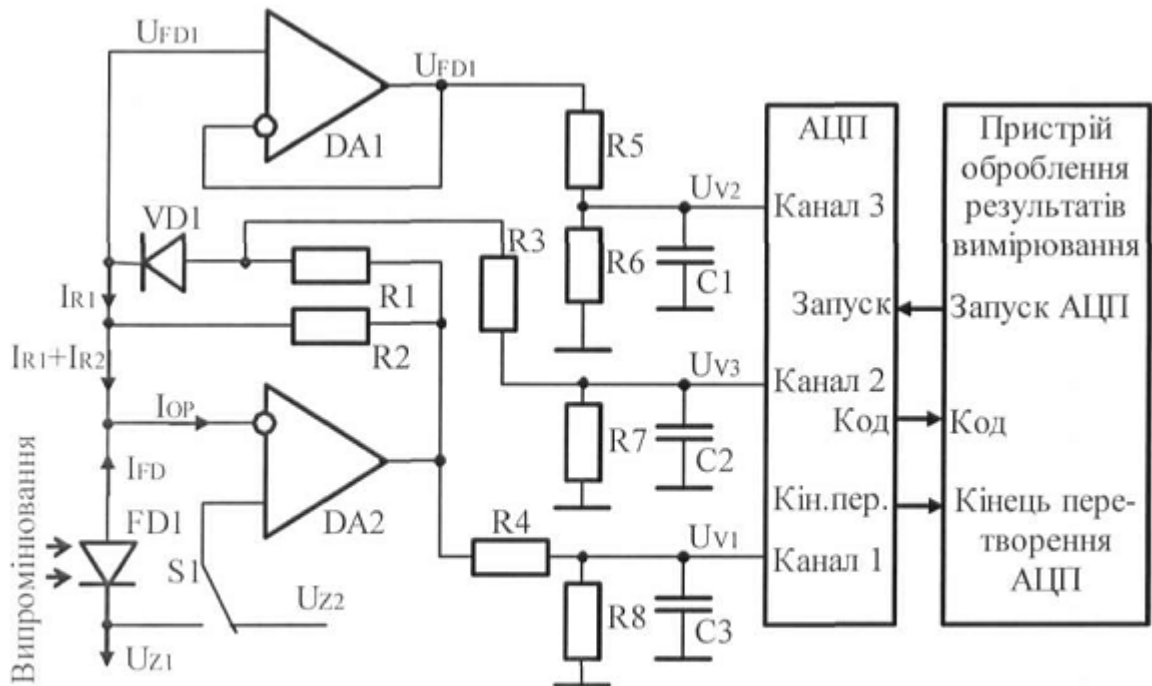
9. ADUC845: Precision Analog Microcontroller [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL:<http://www.analog.com/ru/processors-dsp/analog-microcontrollers/aduc845/products/product.html>

10. +5 V Fixed, Adjustable Low-Dropout Linear Voltage Regulator [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADP3367.pdf

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

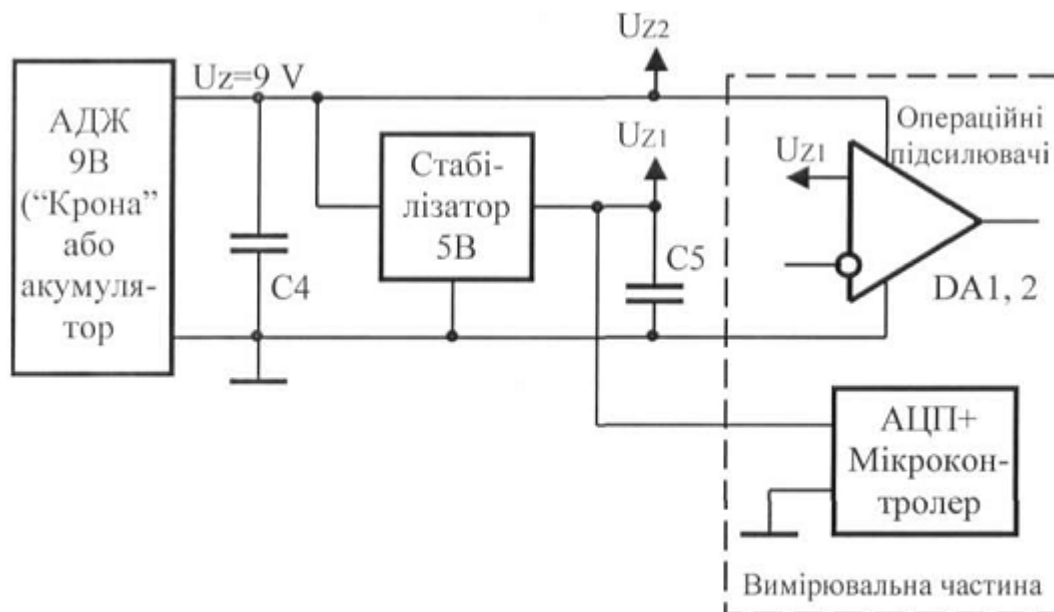
1. Пристрій для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, що складається з послідовно з'єднаних фотодіода, першого операційного підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та обчислювального пристрою оброблення результатів вимірювання, а також автономного джерела живлення, що живить перелічені вузли, причому перший операційний підсилювач ввімкнений як підсилювач струму, який **відрізняється** тим, що в схему введено перемикач, вихід якого підключено до неінвертуючого входу першого операційного підсилювача, напівпровідниковий діод і резистор, з'єднані послідовно та ввімкнені паралельно резистору зворотного зв'язку першого операційного підсилювача таким чином, що катод напівпровідникового діода підключений до аноду фотодіода, а також повторювач напруги на другому операційному підсилювачі, причому входи перемикача підключені до землі фотодіода та до додатного живлення операційних підсилювачів, а до виходів операційних підсилювачів та до точки з'єднання анода напівпровідникового діода і резистора підключені входи трьох резисторних подільників напруги, виходи яких підключені до входів комутатора вхідних сигналів аналого-цифрового перетворювача.

2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що містить автономне джерело живлення пристрою для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, яке містить батарею або акумулятор, від'ємний вихід батареї підключено до виводів від'ємного живлення операційних підсилювачів і землі аналого-цифрового перетворювача та обчислювального пристрою
- 5 оброблення результатів вимірювання, додатний вихід батареї підключено до виводів додатного живлення операційних підсилювачів та входу прецизійного стабілізатора напруги, вихід якого підключено до живлення мікроконвертора та його входу опорної напруги, а також служить землею для фотодіода та операційних підсилювачів.



Фіг. 1

Схема вимірювальної частини пристрою для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання



Фіг. 2

Схема блока живлення пристрою для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання