

---

# ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

---

## OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

---

---

PACS 85.60.DW  
УДК 621.383.049.77

### ДЕЯКІ АСПЕКТИ СХЕМОТЕХНІКИ ОПТИКОЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ

*О. Г. Швець, І. М. Раренко*

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
58012 Чернівці, Коцюбинського 2, (0372)584893, microel@chnu.cv.ua

#### Анотація

#### ДЕЯКІ АСПЕКТИ СХЕМОТЕХНІКИ ОПТИКОЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ

*О. Г. Швець, І. М. Раренко*

В роботі розглянуто ряд схемотехнічних рішень перетворення оптичного сигналу в електричний. В якості фотоприймачів застосовано фотодіоди та фототранзистори. В залежності від інтенсивності, частоти, амплітуди світлової хвилі запропоновані принципові схеми оптимального підсилення сигналу, що одержується з фотоприймачів в оптронах з відкритим каналом.

**Ключові слова:** фотодіод, фототранзистор, світлова хвиля, тригер, операційний підсилювач.

#### Summary

#### SOME ASPECTS OF ELECTRONIC OF OPTOELECTRONIC SENSORS

*A. G. Shvets, I. M. Rarenko*

Several integrated circuitry solutions with converting of optical signal into electrical are discussed. Photodiodes and phototransistors are used as photoreceivers. Principles circuit of the optimum amplification of signal for photoreceivers with open channel are proposed depending on light intensity, frequency and amplitude,.

**Keywords:** Photodiode, phototransistor, light wave, trigger, operating amplifier.

**Аннотация****НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СХЕМОТЕХНИКИ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ***А. Г. Швеи, И. М. Раренко*

В работе рассмотрен ряд схемотехнических решений преобразования оптического сигнала в электрический. В качестве фотоприемников применены фотодиоды и фото транзисторы. В зависимости от интенсивности, частоты, амплитуды световой волны предложенные принципиальные схемы оптимального усиления сигнала с фотоприемников в оптронах с открытым каналом.

**Ключевые слова:** фотодиод, фототранзистор, световая волна, триггер, операционный усилитель.

Фотоелектронні сенсори переважно застосовуються у двох напрямках- для безпосереднього детектування випромінювання від різних джерел та в оптико електронних пристроях з відкритим або закритим каналом. В усіх цих випадках виникає потреба підсилення одержуваних первинних, постійних чи змінних електричних сигналів, часто дуже слабких на фоні різного типу електромагнітних завад. Метою розробок, результати яких представлені в даній статті, було створення ефективних електронних схем для підсилення слабких електричних сигналів порядку  $10^{-8}$  —  $10^{-2}$  А від фотодіодів та фототранзисторів в оптикоелектронних пристроях. Ці принципові схеми були призначені та відповідно випробувані в пристроях для визначення миттєвих просторових, кутових та лінійних положень і швидкостей переміщення дзеркальних відбиваючих растрів, нанесених на деталях точної механіки в роботах та гіроскопах, де мають місце великі електромагнітні завади, а частота променевого сигналу змінюється в межах  $f=10^{-1} \div 10^4$  Гц. В якості випромінювачів, використали GaAlAs-світлодіоди та лазери. Фотоприймачами служили кремнієві фотодіоди та фототранзистори. Перевагу віддали фототранзисторам з обірваною базою площею  $40 \div 40$  мкм<sup>2</sup> і коефіцієнтом підсилення по струму 300-500. В оптронах вбудованих в гіроскопи фототранзистори дозволяли безпосередньо одержувати вихідний сигнал до 1В, і тому завади були значно нижчими від сигналу, що підсилювався. З другого боку, приділялась увага до кіл живлення (пасивні фільтри) та кіл “землі” з метою недопущення виникнення і розповсюдження в них завад. Потрібно відмітити, що результати одержані під час випробовувань цих оптикоелектронних сенсорів довели ефективність спроектованих нами схемних рішень та придатність викорис-

тання їх не тільки в оптронах з відкритим каналом, а й в детекторних системах самого різного призначення — від наукових до промислових. Зокрема, фотодіоди у спроектованих сенсорах працюють у фотогенераторному (вентильному) режимі — для якого характерний мінімальний власний шум фотодіода, а відповідно і найкраще співвідношення сигнал-шум, що покращує порогову чутливість фотоприймача.

Для фотоелектронних сенсорів в складі комп’ютерних системам пріорететно застосовувати цифрову схемотехніку, зокрема, для одержання дискретного вихідного сигналу [1].

В даній роботі представлено, спроектовану нами, принципову схему цифрового фотосенсора із використанням логічних КМОП мікросхем в якості схеми попередньої обробки сигналу з фотоприймача, що доцільно, в першу чергу за рахунок їх високої швидкодії, великого вхідного опору та можливості безпосереднього під’єднання до цифрових пристроїв.

Структурну схему даного цифрового завадостійкого фотосенсора зображено на рис.1. RS — триггер дозволяє зафіксувати точку позиціонування випромінюючого чи відбиваючого об’єкта фотосенсором навіть при нестійкому перекиванні світлового потоку.

Введення регульованого триггера Шмітта в схему фотосенсора дозволяє підвищити завадостійкість та точність спрацювання при порівняно тривалих в часі імпульсах сигналу, що у випадку використання дзеркальних відбиваючих растрів відповідає як високим, так і низьким швидкостям їх переміщення (до 3 мм/хв.), або ж наявності сильних вібрацій. За рахунок регульованої петлі гістерезису триггер Шмітта буде підтримувати стійкий сигнал на виході навіть при короткочасних зменшеннях сигналу на його входах, що може зумовлено різного виду завадами.

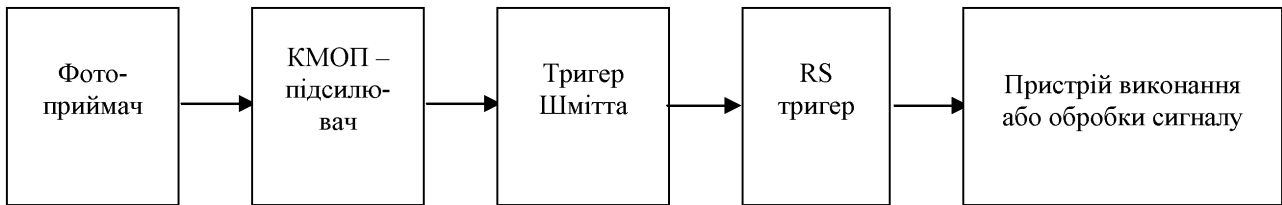


Рис. 1. Структурна схема цифрового фотосенсора.

Принципова схема з урахуванням вище запропонованого зображена на рис.2, де в якості фотоприймача використано фототранзистор, працює наступним чином. При затемненні фототранзистора VT1 вихід елемента DD1.3 переходить в стан логічного 0. Відбувається це за рахунок того, що темновий опір фототранзистора значний (~ 10 Мом). Коли на фототранзистор VT1 попадає випромінення з використаного у нашому випадку світлодіода VD1, він знаходиться в фотогенераторному режимі. ЕРС на його виходах ~ 0,4 В. Резистор R2 має опір 1 Мом, тому напруга на виході інвертора DD1.3 відповідає високому логічному рівню, тобто 1.

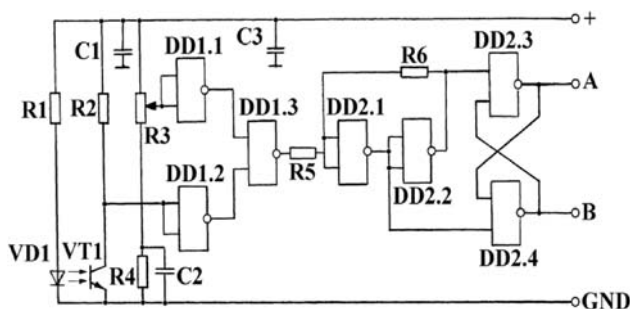


Рис.2. Принципова схема цифрового фотосенсора.

У даній схемі тригер Шмітта реалізований на елементах DD2.1., DD2.2. Величиною опору резисторів R5, R6 можна регулювати петлю гістерезиса даного тригера. RS — тригер утворюють елементи DD2.3, DD2.4. Інвертування сигналів, які подаються на входи RS-тригера здійснюється елементом DD2.2. Точність спрацювання фотосенсора, в залежності від форми та тривалості імпульсів, регулюють резистором R3.

В залежності від алгоритму роботи пристроїв, з якими використовуватимуть фотосенсор, вихідний сигнал останнього можна знімати з виходів А або В (рис.2). Ширину петлі гістерезиса  $\Delta U_{п.г}$  для конкретних умов використання фотосенсора вираховують з умови :

$$\Delta U_{п.г} = U_1 - U_2 = (U^1 - U^0) \frac{R6}{R5}$$

$U_1$  — напруга спрацювання тригера Шмітта  
 $U_2$  — напруга виключення тригера Шмітта  
 $U^1$  — напруга логічної 1 для використаного типу мікросхем

$U^0$  — напруга логічного 0 для використаного типу мікросхем

Використання фотосенсорів з відкритим каналом при вимірюванні параметрів світлових сигналів різної форми та часових характеристик, коли потрібно отримати підсилений, точний та неперервний сигнал, обумовлює застосування аналогової схемотехніки, зокрема операційних підсилювачів (ОП) [2].

На рис.3 зображена схема підсилювача сигналу фотодіода, що являє собою перетворювач струм-напруга, де лінійність вихідної напруги забезпечується за допомогою резистора R1 в колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача. Для більшого підсилення слабких фотострумів слід використовувати ОП з польовими транзисторами на вході, які забезпечують вхідний опір порядку  $10^{11}$  Ом та застосовувати у зворотньому зв'язку високоомні резистори. Опір R1 визначається так, щоб номінальна величина сигнального струму  $I_{in}$  (струм фотодіода VD1) покривала весь діапазон вихідної напруги  $U_{out}$  (зазвичай 10В) ОП:

$$R1 = \frac{U_{out}}{I_{in}}$$

При підсиленні змінної напруги амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) даної схеми визначається ємністю фотоприймача та опором R1. VD1 працює у фотогальванічному режимі. Особливість цього режиму — значно нижча залежність фотоструму діода від температури [3]. Для зменшення перехідних процесів, за рахунок ємності фотоприймача, застосовано конденсатор C1.

Вихідний сигнал даної схеми визначається як:  
 $U_{out} = -I_D (R1+R2) = -AE_D (R1+R2) = -e_D K_y$   
 де  $-I_D = -AE_D$  — струм, який генерує фотодіод в фотогальванічному режимі

$A$  — коефіцієнт перетворення фотодіода  
 $E_D$  — освітленість фотодіода  
 $e_D$  — фото ЕРС діода  
 $K_y$  — коефіцієнт підсилення схеми

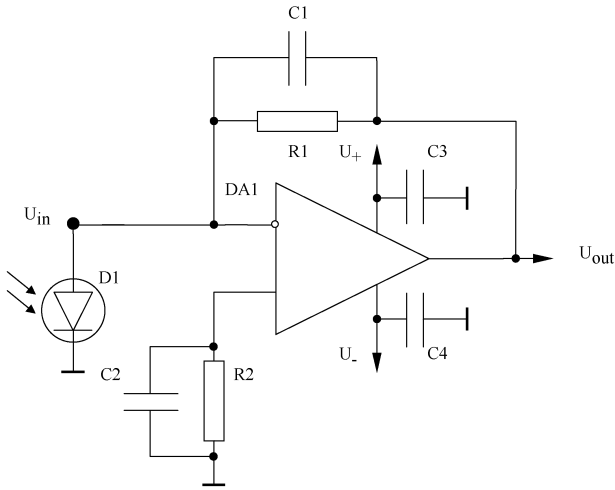


Рис. 3. Принципова схема підсилювача сигналу з фотодіода.

Коли фотосенсор використовується в умовах широкодіапазонної зміни освітленості, доцільно використовувати логарифмічні підсилювачі.

Схема логарифмічного підсилювача фотосенсора зображено на рис.4. Конденсатори C1-C4 (поліпропіленові) застосовані для забезпечення стійкої роботи схеми, при наявності різних електромагнітних завад, що можуть розповсюджуватися по колам живлення. Для температурної стабілізації роботи джерела струму на транзисторі VT2 застосовано діод D2. Стабілітрон DZ1 прицевійний. Щоб вихідна напруга даної схеми дорівнювала

$U_{out} = \ln U_{in}$ , коефіцієнт підсилення DA2 повинен чисельно дорівнювати  $q / kT$ . Терморезистор R6 використано для компенсації температурних змін напруги  $kT / q$ . Фотодіод працює у фотогоальванічному режимі.

$q$  — заряд електрона;  
 $k$  — постійна Больцмана;  
 $T$  — абсолютна температура в кельвінах.  
 Вихідний сигнал визначається як:

$$U_{out} = \frac{\Delta\psi \ln I_D}{I_o}$$

$\Delta\psi$  — різниця потенціалів переходу база-емітер транзистора VT1.1

$I_o$  — темновий струм транзистора VT1.1

Останнім часом у більшості оптронів фотоприймачами служать фотодіоди. Але у випадку наявності великих електромагнітних завад мають перевагу фототранзистори, зарахунок власного внутрішнього коефіцієнту підсилення. Оскільки швидкодія фототранзистора визначається процесами перезарядки колекторно-емітерної ємності [3] то, для збільшення смуги пропускання необхідно зменшувати опір навантаження фототранзистора. Реалізація цієї умови найефективніше виконується при застосуванні ОП. На рис.5 зображена схема, що дозволяє застосовувати фототранзистори з великим темновим струмом, та дає можливість компенсувати цей струм резистором R4. Із схемотехніки використання ОП [ 4 ] відомо, що потенціал точки X рис.5 рівний нулю, тобто фототранзистор в даному випадку працює з нульовим навантаженням. Вихідний сигнал визначається як:

$$U_{out} = -R3 \cdot I_{R3}$$

$I_{R3}$  — струм, що протікає через резистор R3.

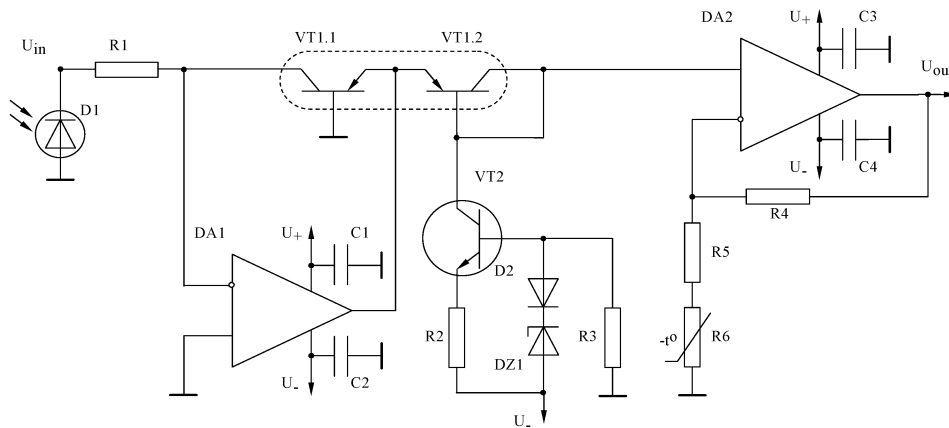


Рис. 4. Принципова схема логарифмічного підсилювача фотосигналу.

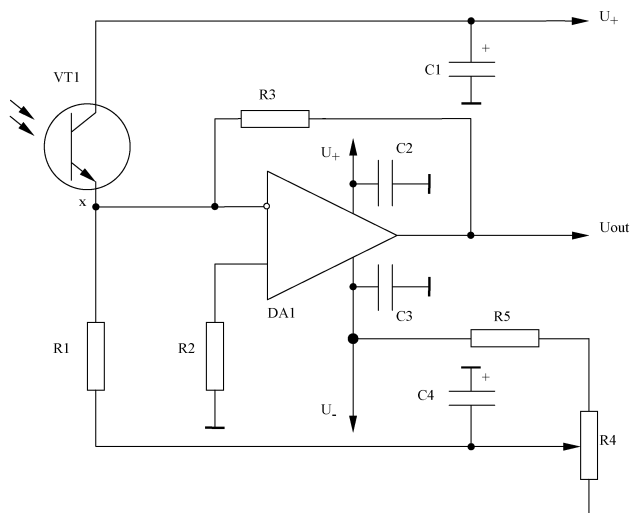


Рис. 5. Принципова схема підсилювача фотосигналу з фототранзистора.

Фототранзистор VT1 функціонує у струмовому режимі.

### Висновок

В роботі представлено ряд досить універсальних схемотехнічних рішень для створення пристроїв підсилення слабких електричних си-

гналів від фотодіодів та фототранзисторів, які використовуються в умовах високих електромагнітних завад. Запропоновані схеми застосовано в оптоелектронних пристроях з відкритим каналом для визначення кутових і лінійних переміщень дзеркальних растрів, нанесених на рухомі деталі пристроїв точної механіки.

### Список літератури

1. Под ред. У.Томпкинса, Дж.Уэбстера. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC : Пер. с англ. — М. : Мир, 1992. — 592с. , ил.
2. Тришенков М. А. Фотоприемные устройства и ПЗС. Обнаружение слабых оптических сигналов. — М. : Радио и связь, 1992 . — 400 с. : ил.
3. Под ред. У.Тсанга. Техника оптической связи: Фотоприемники: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 526 с., ил.
4. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 512 с., ил.