

УДК 621.383

В. Л. Костенко, д-р техн. наук,
М. П. Проскурін, канд. техн. наук

РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПТОЕЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА З ІМПУЛЬСНИМ ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ

Обґрунтовано конструкцію інфрачервоного оптоелектронного датчика з імпульсним вихідним сигналом. Практично підтверджено працездатність оптоелектронного датчика з імпульсним вихідним сигналом.
Ключові слова: оптоелектронний датчик, імпульсний вихідний сигнал, оптоелектронний логічний елемент.

V. L. Kostenko, ScD.,
N. P. Proskurin, PhD.

DEVELOPMENT AND MODELING OF THE INFRARED OPTOELECTRONIC SENSOR WITH IMPULSE OUTPUT SIGNAL

The construction of the infrared optoelectronic sensor with impulse output signal has been justified. The efficiency of the infrared optoelectronic sensor has been confirmed.

Keywords: the optoelectronic sensor, the impulse output signal, the optoelectronic logic element.

В. Л. Костенко, д-р техн. наук,
Н. П. Проскурін, канд. техн. наук

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА С ИМПУЛЬСНЫМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

Обоснована конструкція інфрачервоного оптоелектронного датчика з імпульсним вихідним сигналом. Практически підтверджена работоспособність інфрачервоного оптоелектронного датчика.

Ключевые слова: оптоелектронный датчик, импульсный выходной сигнал, оптоелектронный логический элемент.

Постановка проблеми

Достатньо велике коло сучасних вимірювальних проблем у техніці, медицині, біології вирішується за допомогою засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на основі оптоелектронних датчиків з аналоговим вихідним сигналом. Разом з тим, сучасні тенденції розвитку вимірювальних систем, комп'ютеризація ЗВТ, робота в умовах значних перешкод, дистанційні вимірювання характеризуються широким застосуванням цифрових засобів обробки вимірювальної інформації. Оскільки апаратне перетворення аналогового вихідного сигналу первинного чутливого елемента датчика в цифровий сигнал вимірювального каналу супроводжується додатковими похибками, корисно провести дослідження, що забезпечують безпосереднє формування інформаційного параметра чутливого елемента у вигляді цифрового сигналу.

Аналіз публікацій

В роботі [1] було розглянуто розроблений авторами оптоелектронний адаптивний датчик. Результати моделювання вимірювального каналу комп'ютерного фотоплетизмографа на основі запропонованого оптоелектронного датчика [2] показали, що такий оптоелектронний датчик достатньо ефективно може бути використаний у вимірювальних ланцюгах ЗВТ з аналоговим виходом чутливого елемента, але його використання для отримання імпульсного вихідного сигналу чутливого елемента не можливе. Разом з тим, аналіз схем оптоелектронних логічних елементів (ОЛЕ) квазі-імпульсно-потенціального типу (КПТ) і оптоелектронних логічних пристроїв (ОЛП) на їх базі [3], (рис.1), показав, що в деяких випадках вони можуть бути альтернативою відомим оптоелектронним датчикам. При цьому ОЛЕ можуть обробляти оптичні ЦС без участі електронних ІС, містять у своєму складі оптоелектронну структуру: випромінювачі – світлодіоди (СД), підсилювачі фотоструму (ПФ), фотоприймачі (ФП).

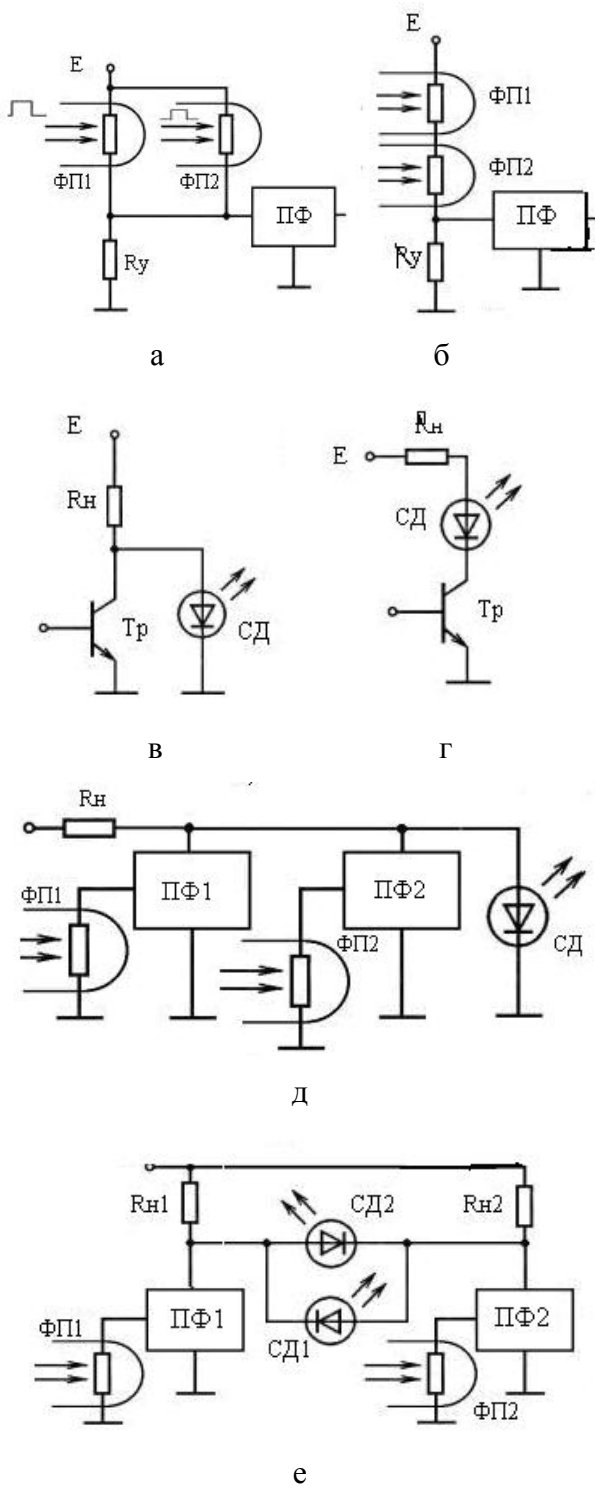


Рис. 1. Реалізація схем вхідної логіки для функцій базису:

а – N АБО-НІ; б – N І-НІ; в і г – схеми включення СД на виході; д – схема оптоелектронної логіки 2АБО-НІ; е – виключне АБО входи, що з'єднані з 1...N фотоприймачами(ФП), підсилювач фотоструму (ПФ) та світлодіод (СД), з'єднаним з оптичним логічним виходом

Мета статті

Метою досліджень є розробка та математичне моделювання, а також експериментальне дослідження інтегральних оптоелектронних датчиків, що утворюють інфрачервоне випромінювання.

Викладення основного матеріалу

З урахуваннями вищенаведеного аналізу відомих публікацій, були проведені дослідження можливості використання розробленої авторами твердотільної оптоелектронної структури [4], інтегрованої в оптоелектронний логічний елемент (ОЛЕ) [5] як оптоелектронного датчика з цифровим вихідним сигналом (ОДЦВС).

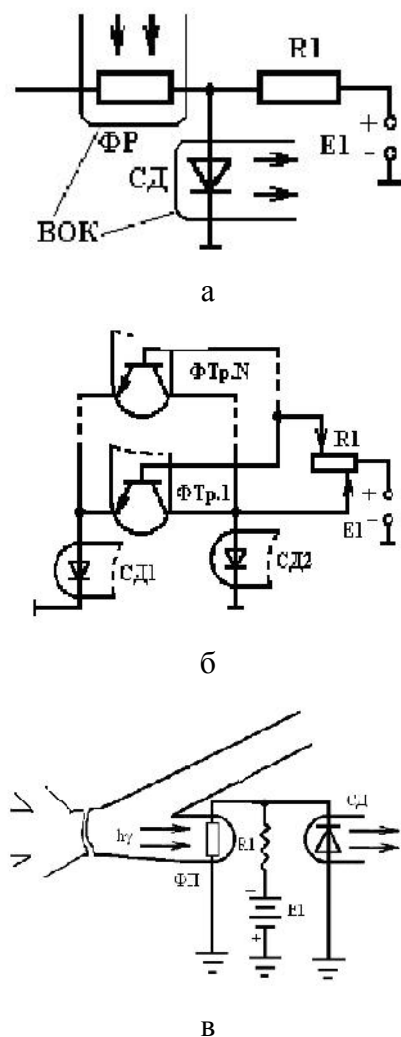


Рис. 2. Ескізи запропонованих електричних схем ОДЦВС на основі ОЛЕ типу: а – оптического інвертора; б – схеми N АБО-НІ адаптивного типу з розширеними функціональними можливостями; в – з «монтажним» N АБО

Запропонований оптоелектронний датчик складається з світлодіода і фотоприймача, зібраних у схему ОЛЕ. Варіанти таких ОЛЕ, запропонованих авторами, для різних типів ФП, зображено на рис. 2. Вони мають фотоприймачі (ФП) (у вигляді фоторезистора (ФР), фототранзистора (ФТр) або фотодіода (ФД) і світловипромінювачі (СД), а також електронні схеми реалізації логічних схем найбільш поширених базисів. Схеми відрізняються різними функціональними можливостями. Оцінка показує, що схему ОЛЕ типу НАБО-НІ можливо реалізовувати на основі оптопар типу СД-ФП.

Моделювання ОЛЕ проводилось із застосуванням програмного середовища моделювання МАЕС-П, сновною відмінністю якої є можливість введення параметрів напівпровідникових структур, що проектується, на основі формалізації опису-розрахунку фіксованого ряду параметрів приладів (діода, тиристора, фото транзистора, оптопар та ін.), згідно з описом моделі.

Особлива увага була приділена дослідженню інтегрованої структури інфрачервоного фотоприймача ОДЦВС, в якому р-і-п ФД інтегровано в структуру височастотного n-p-n транзистора та інфрачервоного світлодіода [6]. Електрична схема інфрачервоного фотоприймача ОДЦВС на базі інтегрованої структури р-і-п ФД з n-p-n транзистром зображено на рис. 3, а, варіант виконання структури з двох роздільних пристроїв (зліва р-і-п ФД, справа ВЧ n-p-n транзистор) на одній підкладинці зображено на рис. 3, б, ескіз вигляду фотоприймача зверху – на рис. 3, в

На рис. зображено також контакти металізації колектора (К), емітера (Э). Сірим тоном зображено область бази (Б), в якій розміщено р-і-п фотодіод (ФД) з прозорим для інфрачервоного (ІЧ) випромінювання покриттям.

На рис. 4 зображено переріз конструкції інфрачервоного світлодіода оптоелектронного датчика.

При моделюванні визначали швидкодію ОДЦВС. Гранична частота $f_{гр}$ світлодіода визначалась на рівні значення 0,7 величини потужності $P_{випр.}$ у режимі «малого сигналу» кладанням на струм $I_{пр.СД0}$ гармонійного

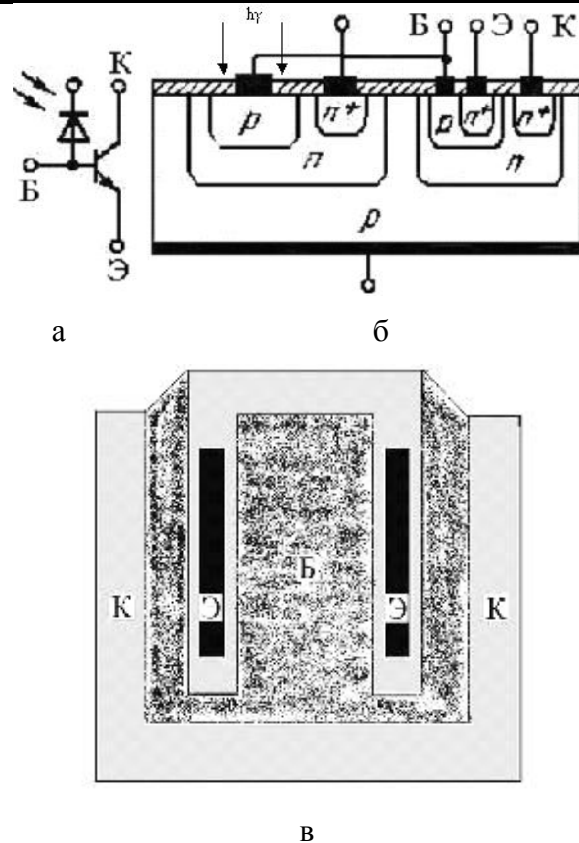


Рис.3. Інфрачервоний фотоприймач ОДЦВС на базі інтегрованої структури р-і-п ФД з n-p-n транзистром:

а – еквівалентна електрична схема; б – структура з двох роздільних пристроїв на одній підкладинці; в – ескіз вигляду фотоприймача зверху

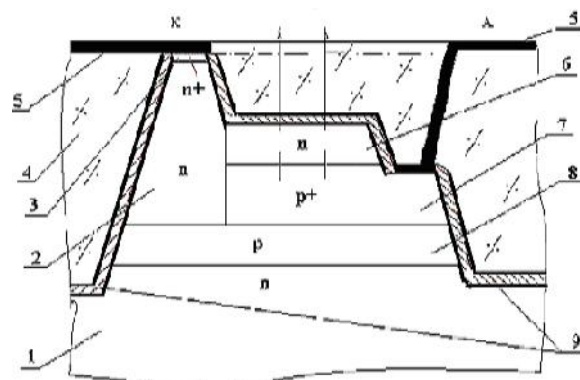


Рис. 4. Переріз конструкції ІЧ СД з розташуванням контактних майданчиків (анода, катода) на одній стороні:

- 1 – n-GaAs підкладка; 2 – n-GaAs катод;
- 3 – легований n^+ прошарок під контакт;
- 4 и 9 прозорі діелектрики; 5 – металізація;
- 6 – прозорий прошарок n-типу; 7 – активний прошарок p^+ типу; 8 – поглинаючий прошарок p -типу

збурювання, згідно:

$$I_{\text{Пр.СД}}(t) = I_{\text{Пр.СД}0} + dI_{\text{Пр}} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t), \quad (1)$$

де $I_{\text{Пр.СД}}(t)$ – миттєве значення прямого струму СД; $dI_{\text{Пр}}$ – амплітудне значення приросту струму СД; $I_{\text{Пр.СД}0}$ – струм прямого зсуву СД.

В роглянутому варіанті $f_{\text{гр}} \sim 1 \dots 0,5 \text{ ГГц}$

В результаті моделювання запропонованої структури р-і-п було також забезпечено визначення технологічних параметрів та їх співвідношення: максимальний рівень концентрації носіїв заряду (що визначає величину фотоструму), швидкість, динаміку і симетрию розсмоктування зарядів, час відгуку ФД.

Значення фотоструму ФД в моделі ФП прийнято $1 \dots 2 \text{ мкА}$ із розрахунку перевищення рівней темного струмів, теплових, особистих шумів на $2 \dots 3$ порядки. Коefіцієнт K_i (передачі по струму) в оптопарах СД-ФД дорівнюється $1,5 \dots 3,5\%$ (ЗОД201Е-1), приймалось 2% .

Для підсилення фотоструму ФД використовується підсилювач-формував (УФ). В цьому випадку ФД и УФ (на основі ВЧ транзистора) являють собою схему ФП, $f_{\text{гр}}$ якого обмежується його найбільш інерційним ланцюгом.

Виходячи з обраної моделі ФП, його добротність може скласти величину $D_{\text{фд}} \sim 0,5 \dots 1 \text{ ГГц}$ при одиничному підсиленні ($G_{\text{фд}} \sim 1$). Слід враховувати що для ФП значення його добротності є величина постійна – тобто $D_{\text{фд}} = \text{const}$; відповідно виграш в швидкодії ФП викликає зниження величини внутрішнього підсилення $G_{\text{фд}}$ та навпаки.

Графік залежності припустимого загасання випромінювання між СД та ФД від швидкості вхідної інформації ОДЦВС, наведено на рис. 5.

Моделювання різних ФД структур підтвердило, що найбільш ефективною по параметру $f_{\text{гр}}$ є структура р-і-п ФД.

З урахуванням перспективності мікропотужних інтегральних схем з оптоелектронними компонентами для цифрових автоматів та обчислювальних пристроїв автори досліджували також можливість інтегрування

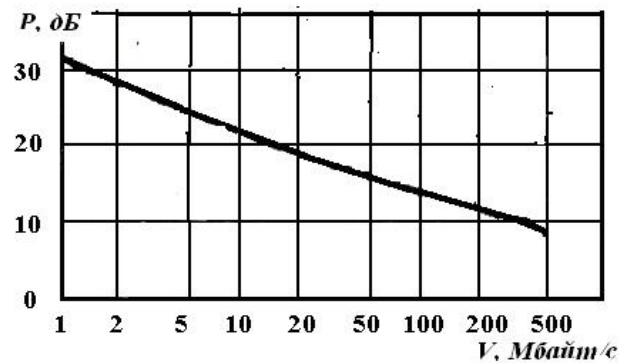


Рис. 5. Залежність припустимого загасання випромінювання між СД та ФД від швидкості вхідної інформації ОДЦВС

мережі ОДЦВС у більш складну схему, функціональні можливості якої розширюються і яка може являти собою фрагмент оптоелектронної інтегральної схеми. На рис. 6 зображено принципову схему макету такого пристрою – мережі ОДЦВС з функцією кільцевого генератора імпульсів на оптопарі ЗОД120А-1 з ПФ на основі ВЧ транзистора КТ3102Е.

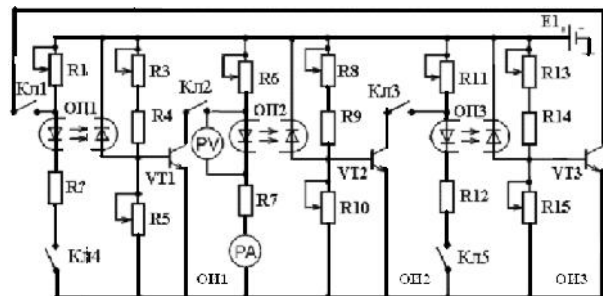


Рис. 6. Принципова електрична схема макета мережі ОДЦВС з функцією кільцевого генератора імпульсів (КГІ) на трьох малопотужних ОІ типу 1АБО-НІ на оптопарі

При макетуванні датчиків використовувались дискретні оптопари виробництва СНД типу АОД111А (1СД-2ФД), ОЭП-7 (1СД-2ФР), ЗОР125А (1СД-4ФР), ЗОД120А-1 з ПФ на основі ВЧ транзистора КТ3102Е і їх імпортовані аналоги.

Вибір варіанта роботи забезпечується перемиканням Кл.1–5.

Результати досліджень підтвержують працездатність та достань високу швидкодію ОДЦВС

Висновки

Запропоновано конструкції та досліджено діючі макети оптоелектронної твердотільної структури інфрачервоного датчика.

Розроблено узагальнені конструкції датчиків та їх мережі, які з метою формування імпульсного вихідного сигналу вміщують оптоелектронні структури, інтегровані в оптоелектронний логічний елемент. На основі комп'ютерного моделювання встановлено основні параметри такої структури.

Список використаної літератури

1 Патент № 86870, Україна. Оптоелектронний інтегральний датчик / В. Л. Костенко, С. О. Жаровцев. – 2009. – Бюл. №10.

2. Моделирование измерительного канала компьютерного фотоплетизмографа / В. Л. Костенко, М. В. Ядрова, А. А. Николенко, С. О. Жаровцев // Электротехнические и компьютерные системы. – 2011. – № 04(80). – Одесса: Техника. – С. 205–208.

3. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники / В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, Г. Л. Лысенко, Ю. Ф. Кутаев. – К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.

4. Костенко В. Л. Оптоэлектронные элементы для датчиков и систем управления / В. Л. Костенко, Н. П. Проскурин // Технична електродинаміка. Тематичний випуск. – Ч. 2. – 2002. – С. 43–454

5. Аналіз оптоелектронних логічних елементів квазі-імпульсно-потенціального типу / М. П. Проскурін, О. В. Щекотихін, С. С. Грушко, В. Л. Костенко. // Нові технології. – 2010. – № 4 (30). – С.11–14.

Отримано 25.05.2012

References

1. Patent of Ukraine № . №86870 Kostenko V. L., Zharovtsev S. O. Optoelektronny integrated sensor. – 2009.– Бюл. №10 [in Ukrainian].

2. Simulation of measuring channel photoplethysmography computer / V. L. Kostenko, M. V. Jadrova, A. A. Nikolenko, S. O. Zharovtsev // Electrical and Computer

Systems. – 2011. – № 04 (80. – С. 205–208 [in Russian].

3. Functional elements and optoelectronic devices / V. P. Kozhemjako, L. I. Timchenko, G. L. Lisenko, Y. F. Kutaev // – К.: УМК ВО, 1990. – 251 p. [in Russian].

4. Kostenko V. L. Optoelectronic components for sensors and control systems / V. L. Kostenko, N. P. Proskurin // Technical electrodynamics. Special Issue. Part 2. – 2002. – P.43–454 [in Russian].

5. Proskurin N. P. Analiz optoelektronnih logichnih elementiv kvazi-impulsno potentsialnogo-type / N. P. Proskurin, O. V. Schekotichin, S. S. Grushko, V. L. Kostenko // New Technologies. – 2010. – № 4 (30). – P.11–14 [in Ukrainian].



Костенко
Віталій Леонідович,
д-р техн. наук, проф.
каф. металорізальних
верстатів, метрології та
сертифікації Одеськ.
нац. політехн. ун-ту



Проскурін
Микола Петрович,
к.т.н., доц. каф-
комп'ютерних систем і
мереж Запорізьк. нац.
техн. ун-ту,
м. Запоріжжя, вул. Жу-
ковського, 64, тел. 061
769 82 49