

ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

УДК 621.3

ОПТОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ БІСПІН-ФОТОДЕТЕКТОРІВ

Кожем'яко В.П., Колесницький О.К., Василицький С.А., Рейда О.М.,
Нізельський М.Б.

Вінницький державний технічний університет

Вступ

Біспін (бізмщений перехід з інжекційною нестійкістю) [1] - новий напівпровідниковий триполюсний прилад, що являє собою подовжений $p-n$ - перехід, на поверхні якого сформовані два контакти - омичний і запірний (нелінійний) — рис. 1. Як нелінійний контакт може виступати бар'єр Шоткі, вбудований локальний $p-n$ - або $n-p$ -перехід, $n-p-n$ ($p-n-p$) — транзистор або метал - тунельно прозорий діелектрик-напівпровідник.

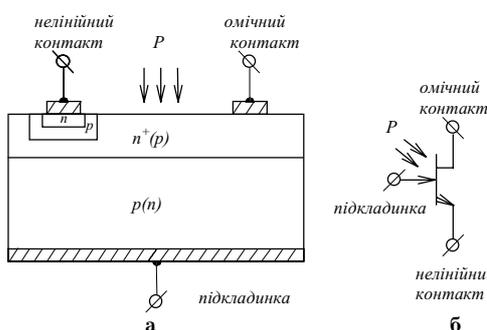


Рис. 1

Дослідження фізики функціонування біспін-структур, їх режимів роботи, параметрів, способів керування детально описані в роботах [1,2,3]. Мета даної статті — розглянути принципи побудови схем різних пристроїв для імпульсної, цифрової, виміральної та обчислювальної техніки на основі біспін-приладів, навести параметри даних схем, результати експериментальних досліджень лінійок біспін-приладів і перспективи покращання параметрів біспін-приладів і схем на їх основі.

Для найпростішої схеми включення біспін-приладу (рис.2а) характерними є чотири стани:

- закритий — різниця потенціалів на структурі нижча порогової, струм через неї визначається струмом витoku нелінійного контакту, генерація відсутня;
- нестійкий імпульсний — невпорядкована генерація імпульсів біля порогу;
- стійкий імпульсний — різниця потенціалів на структурі перевищує порогову, при цьому спостерігається генерація імпульсів струму з певною частотою надходження і амплітудою;
- відкритий — через структуру протікає постійний струм, величина якого визначається її внутрішнім опором і опором навантаження.

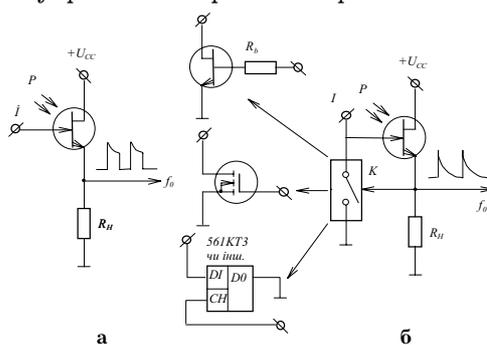


Рис. 2

Таким чином, біспін-прилад може виконувати роль генератора або ключа. Найбільш цікавим є стійкий імпульсний стан біспін-приладу, в якому частотою повторення імпульсів легко керувати у межах до 4-х порядків, змінюючи різницю потенціалів на структурі, рівень струму I через розподілений $p-n$ -перехід або величину світлового потоку P . Зміна різниці потенціалів призводить не тільки до зміни частоти повторення імпульсів, а також їх амплітуди. В решті двох випадках керування амплітуда імпульсів залишається постійною майже на всьому діапазоні перестройки.

Залежність частоти надходження вихідних імпульсів від керуючого струму або оптичної потужності є лінійною:

$$f = k_1 \cdot I + k_2 \cdot P + k_3; \quad (1)$$

де k_1, k_2, k_3 — постійні величини.

З (1) виходить (і це підтверджено експериментально), що оптичний і струмовий входи біспін-приладу є незалежними і адитивними, що значно розширює функціональні можливості біспін-приладу і дає можливість будувати схеми з керованою струмом пороговою фоточутливістю і керованою світлом струмовою чутливістю. Відкритий стан, описаний вище (ключовий режим), спостерігається при значному перевищенні порогової різниці потенціалів на структурі, великих рівнях засвітлення або керуючого струму у підкладинку. Використовуючи широкі функціональні можливості біспін-приладів, що полягають у керуванні потенціалами на трьох електродах, струмом у підкладинку і світлом, можна на їх основі будувати різноманітні пристрої. Розглянемо

деякі з них.

1. Оптиелектронні імпульсні пристрої

В їх основі лежить перетворювач світло (електричний струм) — частота за рис.2а. Для розширення діапазону вхідних оптичних потужностей (ел. струмів) і відповідного їм діапазону вихідних частот можна застосувати зворотний зв'язок на ключовому елементі (рис. 2б), як такий можуть бути використані біполярний *n-p-n*- транзистор, МОП- транзистор з індукційованим *n*-каналом або інтегральний ключ (наприклад К561КТ3). Діапазон вихідних частот в схемах на рис. 2а,б можна змістити в сторону менших частот при підключенні конденсатора певної ємності між підкладинкою і загальною шиною. Величину R_H можна змінювати у межах від 50 Ом до 100 кОм. Типові форми біспін-імпульсів для схем за рис. 2а і рис. 2б наведені, відповідно, на рис.3а і рис. 3б. На основі біспін-приладів розроблені схеми генераторів імпульсів, а також одновібраторів і мультівібраторів, керовані світлом, струмом або напругою [4,5].

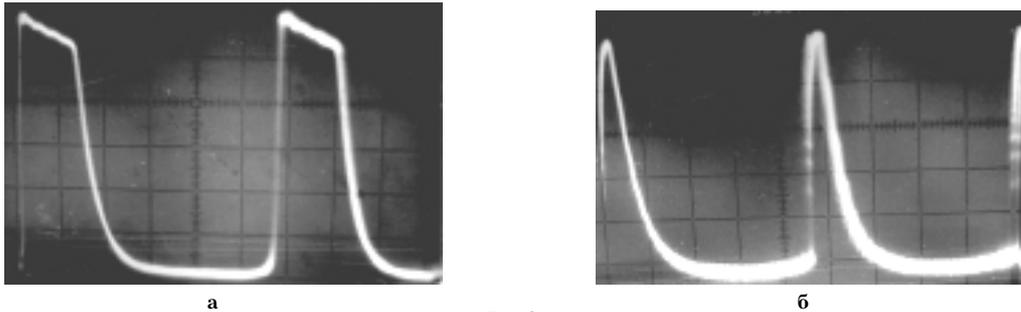


Рис.3

Також розроблені порогові пристрої з керованим порогом, дискримінатори напруги [6], селектори імпульсів за тривалістю [7]. Розроблені генератори прямокутних імпульсів реалізовані у вигляді гібридних мікросхем по два-три генератора в корпусі і мають наступні параметри :

- напруга живлення - 3-15 В;
- тривалість фронту не більше 100 наносекунд;
- тривалість зрізу — сотні наносекунд;
- діапазон частот — 0.1 Гц ... 1 МГц;
- тривалість імпульсів — 0.2...1 мкс.;
- амплітуда імпульсів — 1...200 мА.

Перевага даних генераторів перед аналогами — можливість отримання більших на порядок часових інтервалів при тій самій ємності хронуючого конденсатора і опорі хронуючого резистора.

2. Широтно - імпульсні модулятори (ШИМ) і фазо - імпульсні модулятори (ФІМ) оптичних сигналів (електричних струмів)

На рис. 4а представлена схема, що суміщує у собі функції ШІМ і ФІМ [8] і має гіперболічний закон перетворення, тобто $T \sim 1/P$, де T — тривалість часового інтервалу на виході схеми. На рис. 4б - часова діаграма роботи схеми.

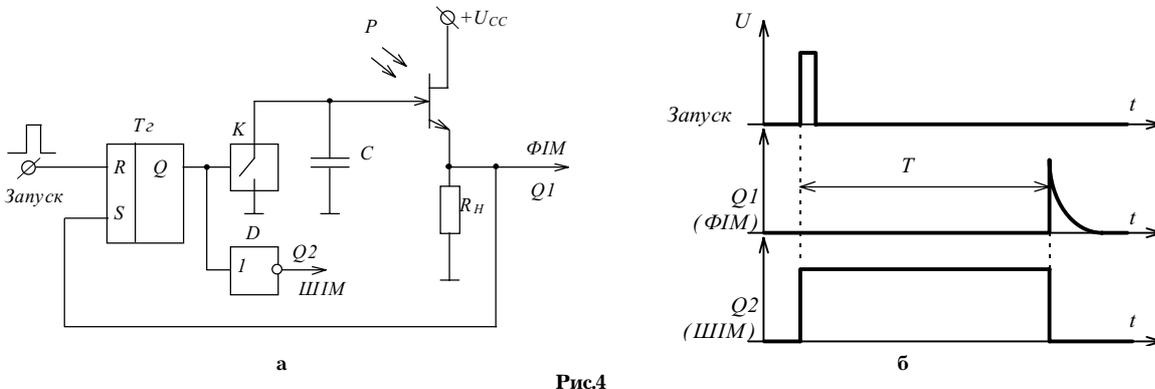


Рис.4

Схема працює наступним чином. Короткий оптичний імпульс, що надходить на вхід “запуск”, встановлює тригер T_r у нульовий стан, при якому ключ K розімкнений і фотострум, пропорційний P , тече від омичного контакту в підкладинку і заряджає ємність C . При досягненні різниці потенціалів на ємності, рівної приблизно U_{cc} на R_H формується імпульс напруги,

який є вихідним імпульсом ФІМ і перекидає тригер Tt в одиницю. Це призводить до замикання ключа K і розряду ємності C . Схема готова до наступного циклу роботи. На виході інвертора D формується одиничний імпульс ШІМ, тривалість якого $T \sim 1/P$. Були також розроблені ШІМ і ФІМ з лінійними законами перетворення [8].

3. Бістабільні і запам'ятовуючі пристрої

На основі схеми за рис. 2а розроблена бістабільна комірка з оптичним входом і оптичним виходом [4]. Для цього в схему на рис. 2а введений світлодіод, включений послідовно з R_{np} , котрий формує вихідний оптичний сигнал, що надходить також і на оптичний вхід біспін-приладу (позитивний зворотний зв'язок). Оптичний вхід біспін-приладу є S -входом, а оптичний вхід додатково введеного фотодіода, підключеного катодом до підкладинки, а анодом - до загальної шини, є R - входом бістабільної комірки. Дана комірка має наступні параметри :

- оптична енергія переключення - менше 10^{-9} Дж;
- частота переключення - до 1 МГц;
- споживана потужність у стані логічної одиниці - 0.5 мВт.

Простота і низька споживана потужність дозволяють на основі даної комірки виготовляти матриці запам'ятовуючих комірок за технологією гібридних і інтегральних багатошарових схем на прозорій підкладинці для паралельних оптоелектронних процесорів обробки зображень. Поріг спрацьовування комірки по світлу може збільшуватися або зменшуватися за допомогою струму, що витікає з підкладинки або втікає в неї. На основі цієї бістабільної комірки також були розроблені оптоелектронний лічильний тригер і оптоелектронний регістр зсуву[8].

4. Компаратор оптичних сигналів.

На основі біспін-приладів може бути побудована схема для порівняння оптичних сигналів (або електричних струмів), тобто компаратор оптичних сигналів [9]. Схема такого компаратора представлена на рис. 5а і має два біспін-прилади $VE1$ і $VE2$, два резистора навантаження $R1$ і $R2$, два світлодіоди $VD1$ і $VD2$. Оптичний компаратор на біспін - фотоприймачах має частотні виходи : електричні $-Q_{ел}$ (прямий) і $Q_{ел}$ (інверсний), і оптичні $Q_{оп}$ і $\bar{Q}_{оп}$. Коли оптична потужність

P на прямому вході компаратора більше оптичної потужності \bar{P} на інверсному вході компаратора, тоді на прямих виходах $Q_{ел}$ і $Q_{оп}$ будуть присутні, відповідно, електричні і оптичні імпульси. У випадку $P < \bar{P}$ імпульси будуть присутніми на інверсних виходах $\bar{Q}_{ел}$ і $\bar{Q}_{оп}$.

Частота вихідних імпульсів $f \sim P + \bar{P}$. Для збільшення діапазону оптичних потужностей, що порівнюються, можна застосувати ключові елементи (показані пунктиром на рис. 5а).

За необхідності мати замість частотних виходів потенціальні, можна застосувати схему компаратора оптичних сигналів за рис. 5б, в котрій за допомогою зворотного оптичного зв'язку з світлодіоду на біспін-прилад організоване "защипнення" вихідної інформації компаратора.

Схема компаратора на рис. 5в також має потенціальні виходи і відрізняється від схеми на рис. 5б наявністю електронних тригерів, що виконують функцію "защипнення" інформації про співвідношення оптичних потужностей $|P - \bar{P}|$, що порівнюються. Мінімальна різниця оптичних потужностей, що реєструється компаратором на біспін-приладах, складає десятки-сотні нановатт.

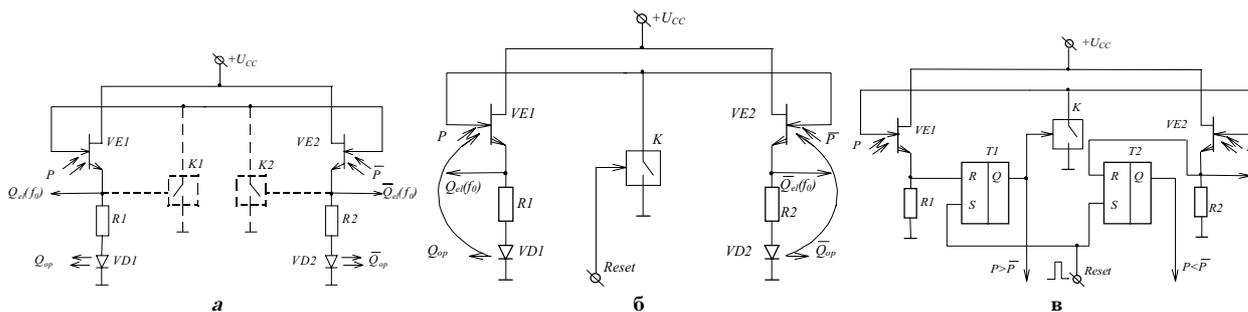


Рис. 5

5. Аналого-цифрові фотоперетворювачі (фотометри)

Використання перетворювачів світло-частота (рис. 2а,б) на біспін-приладах разом із лічильником дозволяє будувати схеми аналого-цифрових фотоперетворювачів, що відрізняються від відомих значним спрощенням. Спрощення досягається за рахунок виключення складних операційних підсилювачів і компараторів, що потребують до того ж двополярного живлення. Окрім простоти, схеми на біспін-приладах характеризуються зручними для електроніки напругами живлення (3...15 В), а біспін-імпульси сумісні з вхідними рівнями інтегральних схем ТТЛ і К-МОП.

В роботі [10] описаний фотометр на основі перетворювача світло-частота за рис. 2б, що має лінійну залежність частоти f вихідних імпульсів від потужності оптичного випромінювання:

$$f = kP + b, \tag{2}$$

де $k = const, b = const$.

Так як частота f — це число N імпульсів за 1 сек., то з (2) виходить :

$$N = kP + b. \tag{3}$$

Для того, щоб отримати значення P з (3) запишемо:

$$P = N/k - b/k; \tag{4}$$

де N/k — число імпульсів за k -ту частину секунди.

В схемі фотометра (рис.6) апаратну реалізацію обчислення формули (4) виконують на основі лічильника 4, в котрий перед початком циклу вимірювання по входах паралельного запису заноситься доповнюючий код числа $(-b/k)$, тобто величина $V - b/k$, де V - смінь лічильника 4. Після чого на протязі циклу вимірювання тривалістю $T = 1/k$ (сек), що виробляється таймером 3, імпульси з виходу перетворювача 1 світло-частота надходять на лічильний вхід лічильника 4 через схему “&” 2. В результаті на лічильнику 4 отримують код числа, пропорційного P . Із закінченням інтервалу T другий формувач імпульсів 6 формує короткий імпульс, за яким те, що зберігалось у лічильнику 4, переписується в регістр 7, після чого

дешифрується дешифратором 8 в сигнали керування цифровим індикатором 9.

По передньому фронту наступного імпульсу таймера 3 в лічильнику 4 знову встановлюється код числа $(-b/k)$ і процес вимірювання повторюється. Значення P , що було виміряне у поточному періоді, відображається на протязі наступного періоду роботи таймера 3. Коефіцієнти b і k в (2) визначаються експериментальним шляхом із побудованої ватт-частотної характеристики

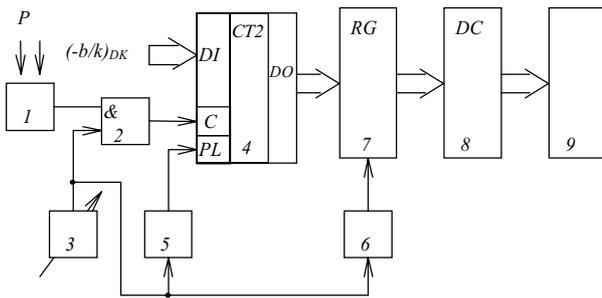


Рис. 6

перетворювача світло-частота на біспін-приладі.

Простота, зручні напруги живлення і низька споживана потужність роблять схеми на біспін-приладах незамінними при побудові багатоканальних (одномірних або двомірних) пристроїв для обробки зображень. Багатоканальні АЦП оптичних сигналів можуть бути побудовані як на основі перетворювачів світло-частота, так і на основі ШІМ, ФІМ і компараторів оптичних сигналів на біспін-приладах. Багатоканальні АЦП зображень [11] необхідні для паралельних цифрових оптоелектронних процесорів [12]. Вони перетворюють вхідне напівтонове зображення у набір бінарних зрізів (бітових картин) [12]. Лінійки а-ц-фотоперетворювачів потрібні для векторно-матричних перемножувачів [13]. Багатоканальні ШІМ, ФІМ та оптичні порогові схеми з керованим порогом застосовуються у нейронних мережах. На основі ФІМ з біспін-приладом також розроблені багатофункціональні пристрої для паралельної логічної обробки зображень [14]. На основі ФІМ (рис. 4) був розроблений і виготовлений багатофункціональний прилад для паралельної обробки зображень [15], що працює як в режимі АЦП, так і в режимі логічної обробки бінарних картин з оперативним вибором булевих функцій. Пристрій має наступні параметри : розмір зображення, що обробляється, — 8*8 елементів; розмір вхідної апертури — 20*20 мм; час а-ц-перетворення (логічної обробки) — не більше 100 мкс; прилад розрізняє не менше 64 градацій оптичної потужності при діапазоні вхідних оптичних потужностей 1...50 мкВт/елемент; кількість бінарних зображень для логічної обробки N - від 2 до 4; кількість виконуваних логічних функцій — 2^{2^N} .

Для задач фотометрії і обробки зображень були виготовлені лінійки кремнієвих біспін-приладів двох типів [16], параметри котрих представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ п/п	Параметр	Тип № 1	Тип № 2
1.	Кількість фотоприймачів в лінійці, шт.	24	32
2.	Розмір одного фотоприймача, мм	2.2×1.75	1.8×1.15
3.	Відстань між фотоприймачами, мкм	100	100
4.	Діапазон спектральної чутливості, мкм	0.4...1.0	0.4...1.0
5.	Робоча напруга (U_{cc}), В	2...30	1.5...10
6.	Порогова оптична потужність (залежить від U_{cc} і R_H), мкВт/елемент	35...80	9...14
7.	Пороговий струм підкладинки (залежить від U_{cc} і R_H), мкА	6...30	1.4...2.2
8.	Діапазон зміни оптичної потужності (електричного струму) в схемі по рис. 2а без ємності C , раз	до 170	до 30
9.	Діапазон зміни вихідних частот в схемі по рис. 2а без ємності C , кГц	5...650	3...140
10.	Діапазон зміни оптичної потужності (електричного струму) в схемі по рис. 2б без ємності C , раз, не менше	10^4	10^4
11.	Діапазон зміни вихідних частот в схемі по рис. 2б без ємності C , кГц	2...3000	1...300
12.	Напівширина імпульсу в схемі по рис. 2а (в схемі по рис. 2б — залежить від R_H), мкс	3...6(0.2)	2...5(0.1)
13.	Розкид параметрів фотоприймачів, %, не більше	10	10
14.	Темновий струм в режимі фотодіода, нА, не більше	50	30
15.	Струмова монохроматична чутливість в режимі фотодіода, А/Вт	0.16	0.15
16.	Габаритні розміри, мм	65×40×4.3	60×40×4.3
17.	Маса, г, не більше	10	9

Лінійки виконані на підкладинці з склотекстоліту, омичні контакти усіх біспін-приладів об'єднані, а запірні контакти і контакти підкладинки виведені індивідуально від кожного фотоприймача у вигляді друкованих провідників (рис. 7).



Рис. 7

Компаратори оптичних сигналів (рис. 5) виготовлені на основі даних біспін-приладів, характеризуються мінімальною різницею оптичних потужностей $|P - \bar{P}|$, що реєструється компаратором: 600 нВт для типу №1 і 40 нВт для типу №2.

6. Індикатор максимальної освітленості в зображенні

Лінійка або матриця біспін-приладів з об'єднаними виводами підкладинки (або на загальній підкладинці у випадку інтегрального виконання) може використовуватися як індикатор точки з максимальною освітленістю в одномірному (двомірному) зображенні. В лінійці біспін-приладів, кожний з яких включений за схемою на рис. 2а(б) і в яких всі виводи підкладинки з'єднані, імпульси з'являються на виході тільки того біспін-приладу, котрий максимально освітлений. Якщо на матрицю біспін-приладів, фрагмент якої показано на рис.8, спроектувати зображення з максимальною яскравістю в точці з координатами (i, j) , то імпульси додатної полярності з'являться на виході Q_{xi} , а імпульси від'ємної полярності — на виході Q_{yj} . Таким чином, лінійки і матриці біспін-приладів з загальною підкладинкою дозволяють безпосередньо і швидко (без сканування) визначати координати максимально яскравої точки в зображенні. Ця властивість може бути використана в різних пристроях, наприклад, спектроаналізаторах, вимірювачах переміщень і т.п. Реальним є виготовлення в інтегральному вигляді лінійок біспін-приладів з загальною підкладинкою і кроком розташування фоточутливих елементів 50 мкм і більше і матриць з кроком 200 мкм і більше.

Біспін-прилад може бути використаний і в режимі фотодіода. При цьому як катод фотодіода використовується омичний контакт, а як анод - підкладинка, з'єднана з запірним контактом, або тільки підкладинка, а запірний контакт не задіяно.

Параметри чутливості і швидкодії біспін-приладів можна змінювати при їх виготовленні такими технологічними параметрами, як відстань між омичним і запірним контактами, вид запірного контакту, концентрація домішок в p - і n - шарах та інш. Але у досліджених біспін-приладах важко підвищити максимальну швидкодію вище одиниць МГц, тому вони можуть використовуватися у пристроях для фотометрії і обробки зображень з середньою швидкодією. Для побудови високопродуктивних лінійних і матричних пристроїв паралельної обробки зображень слід використовувати біспін-прилади на арсеніді галію і антимоніді індію, котрі

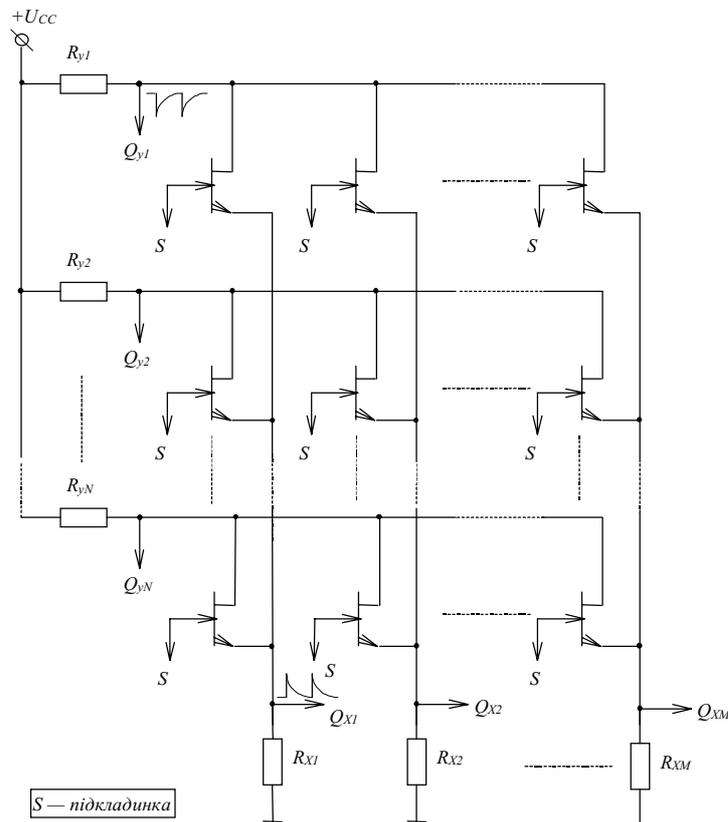


Рис. 8

характеризуются диапазоном выходных частот от 2 до 50 МГц.

Литература

1. Кнаб О.Д. Биспин - новый тип полупроводниковых приборов // Электронная промышленность.-№8.-1989.-С.3-8.
2. Булгаков С.С. и др. Токовая неустойчивость в транзисторных биспин-структурах // Электронная промышленность.-№8.-1990.-С.15-20.
3. Булгаков С.С., Кнаб О.Д., Лысенко А.П., Мома Ю.А. Биспин — новый прибор микроэлектроники // Обзоры по электронной технике. Серия 2: Полупроводниковые приборы. -М.: ЦНИИ “Электроника”, 1990.-Выпуск 6 (1563).
4. Исследование основных областей применения биспин-приборов. Отчет о НИР (заключительный). -№ гос. рег. 01880089652; Инв. №02890052473.-Винница, 1990.
5. А.с. СССР №1653135 Генератор импульсов/ О.Д. Кнаб и др. //Бюлл. -1991.-№20.
6. А.с. СССР №1723663 Двухпороговый компаратор/ О.Д.Кнаб и др. //Бюлл. -1992.-№12.
7. А.с. СССР №1653134 Генератор импульсов/ О.Д. Кнаб и др. //Бюлл. -1991.-№20.
8. Разработка теории и принципов построения универсальных устройств логической обработки изображений. Отчет о НИР (заключительный). -№ гос. регистрации 01900020099, Инв. №02900006360. -Винница, 1990.
9. Патент України №2993 Оптикоелектронний вузол матриці для порівняння зображень / В.П. Кожем'яко, О.К. Колесницький та інші (патент РФ №2015558. //Бюл. -1997.-№12).
10. А.с. СССР №1661586 Фотометр /Б.М. Богданов и др. //Бюлл. -1991. -№25.
11. Колесницький О.К., Красиленко В.Г. Аналого-цифровые преобразователи изображений картинного типа для цифровых оптоэлектронных процессоров: -Обзор // Автометрия -1992, -№2. -С.16-29.
12. Денисов В.М., Матвеев Ю.Н., Очин Є.Ф. Структура цифрового оптоэлектронного процессора многоуровневых изображений по пространственно-непрерывным разрядным срезам // Электронное моделирование. -1984. -Т.6, №6, -С.99-101.
13. Онищенко Т.А. Динамические оптические системы соединений для параллельных процессоров //Радиоэлектроника за рубежом: -Обзоры. -М.: НИИЭИР, 1989. -Вып. 8(40).
- 14.Разработка теории и принципов построения универсальных устройств логической обработки изображений. Отчет о НИР (заключительный). № гос. регистрации 01890081153; Инв. №02900005127. -Винница, 1990.
15. Многофункциональный преобразователь изображений картинного типа “ПИКАРТ — 8*8/100/4” / В.П. Кожем'яко, О.К. Колесницький и др. — Инф. листок №45-91. — Винница :

МТЦНТИ, 1991.

16. Кожемяко В.П., Колесницкий О.К. и др. Многоэлементные линейки ЛБФ-32/07 и ЛБФ-24/08 кремниевых биспин-фотоприемников//ПиТЭ, -№3, 1992. -С.234-235.

УДК 681.7.069.32

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕГРАЛЬНИХ ЛАЗЕРНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

Кожем'яко В.П., Лисенко Г.Л., Суприган В.А.

Вінницький державний технічний університет

Інформативність сучасних засобів вводу-виводу та обробки зображень визначається елементною базою та методами обробки даних. Одним з пріоритетних напрямків є використання оптичелектронної елементної бази (ОЕБ). Сучасні паралельно-последовні методи обробки двовимірних масивів [1], реалізовані на ОЕБ, використовують природний паралелізм, притаманний процесорам з логіко-часовим типом обробки даних.

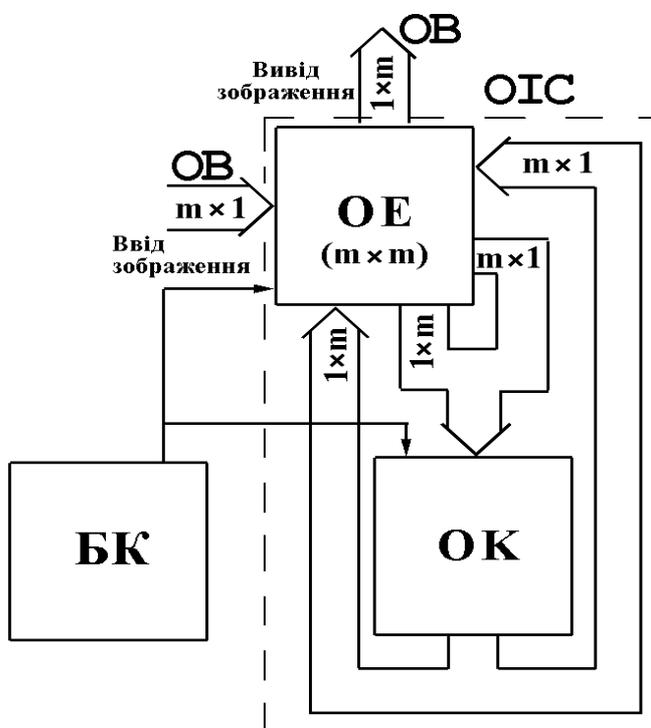


Рис.1. Структура ОІС: ОЕ - операційний екран, ОК - оптичні комутатори, ОВ - оптичні волокна, БК - блок керування

Апаратну реалізацію таких алгоритмів доцільно виконати на оптичних інтегральних схемах (ОІС) (рис.1). Операційний екран (ОЕ) являє собою матричну структуру, в якій кожний окремий елемент виконує наступні функції: прийом з виділеного напрямку, зберігання інформації та передачу на виділений напрямок [2]. Функції прийому та передачі можуть бути зовнішніми та внутрішніми. Прийом та вивід зображення зовні ОІС виконується по оптиковолоконному шлейфу. Оптичні комутатори (ОК) представляють собою лінійку направлених відгалужувачів для паралельної обробки масивів [3]. Необхідність застосування ОК пояснюється виключенням позаалгоритмічних ланок збереження образів. Найбільшу вагу в пристрої мають джерела випромінювання, оскільки інші елементи ОІС розробляються з урахуванням довжини хвилі та модового складу випромінювання. Для реалізації ОІС слід оптимізувати параметри елементів: потужність споживання ОІС, розміри, довжину хвилі випромінювання, сумісність матеріалів та розрядність.

Одним з найважливіших параметрів, який опосередковано впливає на швидкодію, розміри та потужність споживання є розрядність ОЕ. Оптимальним значенням є 128×128 - тоді розміри кристала ОК будуть $16,71 \times 13,52$ мм [3] (при 32×32 - $13,5 \times 4,16$ мм; 64×64 - $13,5 \times 8,32$ мм). Розрядність вибрана також з урахуванням можливої кількості виводів керування ОЕ та ОК. Зазначимо, що при обробці зображення, спостерігач не матиме змоги розрізняти зміни у перетворюваному зображенні, так як час цих змін лежить у мегагерцовому діапазоні. Тому вказані ОІС доцільно використовувати в пристроях технічного зору та штучного інтелекту, а робочу довжину хвилі випромінювачів перенести у інфрачервону частину спектра $\lambda = 0,7678$ мкм, де потужність споживання та собівартість н/п лазерів значно нижчі.

Для взаємоузгодженої роботи найбільш підходять одномодові і одночастотні режими роботи н/п лазерів на розподілених зворотних зв'язках (РЗЗ) та розподілених береговських дзеркалах (РБД) [3]. Критерієм одномодового режиму є подавлення бокової моди до рівня - 30 дБ [4].

У представленій роботі характеристики н/п лазерів на РЗЗ та РБД визначені теоретично. Методика розрахунків випромінювачів використовує статичну модель резонатора з прямокутною ґраткою.

Фотони та електрони напівпровідникового лазера не знаходяться в стані термодинамічної