

А.В. Скрипець, кандидат технічних наук, професор
 В.М. Краснов, кандидат технічних наук, доцент
 В.В. Левківський, асистент
 (Національний авіаційний університет, Україна)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО АВТОКОЛІМАТОРА З ПЗЗ-ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

Запропонована методика розрахунку телевізійного цифрового автоколіматора з просторовим фотоперетворювачем на матричному приладі з зарядовим зв'язком, що дозволяє візуалізувати поле зображень і спростити юстировку приладу при виробництві.

Прилад з зарядовим зв'язком (ПЗЗ) є твердотілим аналогом відикона. Тому в структурній схемі передавальної телевізійної камери (ПТК) (див. рис. 1) замість відикона треба в площині аналізу прилад

у розмістити матричний ФПЗЗ, а замість синхрогенератора СГ, що формує пилкоподібні напруги кадрового і рядкового розгорнення, установити синхрогенератор, що формує трифазні послідовності зміщених у часі імпульсів для секцій накопичення, збереження і регістра зміщення.

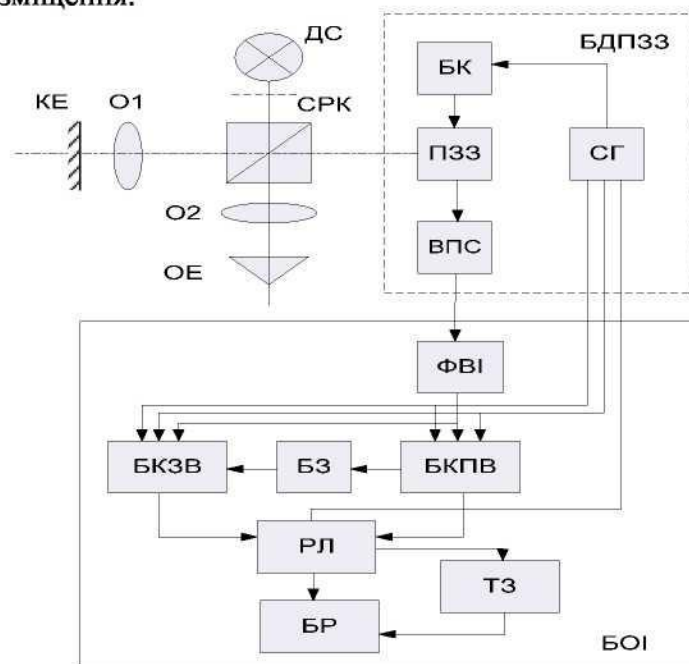


Рис.1 Функціональна схема автоколімаційного приладу керування:

КЕ – контрольний елемент; ДС – джерело світла; СРК – світлороздільний кубик; ОЕ – опорний елемент; БК – блок ключів; СГ – синхрогенератор; ВПС – відеопідсилювач; БДПЗЗ – блок датчика ПЗЗ; ФВІ – формувач відеоімпульсу; БКЗВ – блок керування зворотним відліком; БКПВ – блок керування прямим відліком; БЗ – блок затримки; РЛ – реверсивний лічильник; БР – буферний регістр; ТЗ – тригер знака; БОІ – блок опрацювання інформації

Природно, відпадає необхідність і в блоці для що в блоці фокусування та відхилення електронного пучка. Важливим параметром ФПЗЗ, що визначає роботу телевізійного АК, є фоточутливість, що залежить від проникної здатності полікремнієвої поверхні (електродів), коефіцієнта поглинання α , квантової ефективності η і способу засвічування. Зарядовий пакет, що накопичується під електродами ПЗЗ за час накопичення (інтегрування) під дією потоку випромінювання $\Phi_{випр}$ за умови, що використовуються всі збуджені носії, може бути розрахований за наступним виразом:
$$Q_{pn} = q \cdot \Phi_{випр} \cdot \eta \cdot t_n \cdot S_e, \quad (1)$$

де q – заряд електрона; η – квантовий вихід; t_n – час накопичення; S_e – частина площі електрода, що сприймає потік випромінювання $\Phi_{випр}$.

Тимчасовий процес накопичення заряду можна описати рівнянням

$$\frac{dQ_p}{dt} = qh \int_0^{x_{oc}(Q_p)} q_{cd} + J_p(X_{oc}) \quad (2)$$

де $j_p(X_{oc})$ щільність потоку дірок, що дифундують у потенційну яму з підкладки (підкладка – n типу); x_{oc} – глибина збідненого шару (потенційної ями); q_c – швидкість генерації носіїв під впливом потоку випромінювання Φ_0 , причому: $q_c = h \cdot \phi_0 \cdot e^{-\alpha x}$
(3)

Для ПЗЗ-величину h можна прийняти рівної 1. Цьому значенню відповідає фоточутливість $S = 500$ мка/лк, а гранична чутливість при якій сигнал перевищує шуми приблизно в 2 рази для ПЗЗ складає 10^{-4} лк.с. Застосування матричних ФПЗЗ у складі телевізійного АК, дозволяє забезпечити телевізійний режим сканування полю аналізу і тим самим забезпечити візуалізацію оптичних сигналів по відеоконтрольному пристрою. Це також одне з переваг використання ПЗЗ, особливо при роботі з інфрачервоними світлодіодами в процесі юстировки і настроювання приладу. Розрахуємо основні характеристики синхрогенератора для послідовностей імпульсів у телевізійному стандарті:

– тривалість періоду напівкадрів: $T_n = 312 \cdot t_{cu} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, (4)

де $t_{cu} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – період проходження рядкових імпульсів;

– тривалість кадрово-імпульсу, що гасить, протягом якого відбувається перенос із секції нагромадження (СН) у секцію збереження (пам'яті) (СП): $t_{кз} = 24t_{cu} = 1.536 \cdot 10^{-3} \text{ с}$,

(5)

– кількість інформативних рядків для матриці типу ФПЗЗ-3М (при закритій від світла СП) у секції нагромадження $P_{стр} = 144$;

– період проходження імпульсів переносу зі СН у СП $T_{пер} = \frac{t_{кз}}{P_{стр}} = \frac{1,536^{-3}}{144} = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$; (6)

– частота проходження імпульсів переносу $f_{пер} = \frac{1}{T_{пер}} = 93750 \text{ Гц}$; (7)

– тривалість періоду зчитування-нагромадження:

$$T_n = T_{cu} = 288t_{cu} = 288 \cdot 64 \cdot 10^{-6} = 18,432 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad (8)$$

– тривалість строчного імпульсу, що гасить, протягом якого відбувається перенос рядка зі СП у реєстр зчитування (обумовлений ТВ стандартом): $t_{cz} = T_{пер} = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$;

(9)

– інформативна тривалість рядка: $t_{инф.стр.} = t_{cu} - t_{cz} = 53,3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$; (10)

– частота проходження рядків (ТВ стандарт): $f_{стр} = \frac{1}{t_{cu}} = 15625 \text{ Гц}$ (11)

– період проходження імпульсів у вихідному реєстрі

$$t_{пер.ВР} = \frac{t_{инф.сч}}{n} = \frac{53,3 \cdot 10^{-6}}{262} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}, \quad (12)$$

де $n = 256$ для середньоформатної матриці 288×256 , але з топологічної конструкції для конкретного приладу ФПЗЗ = 3М $n = 262$;

– частота генератора, що задас: $F_0 = K \cdot f_{перВР} = \frac{3}{t_{перВР}} = 3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ МГц}$, (13)

де $K = 3$ – коефіцієнт розподілу частоти зразкового генератора для одержання трифазної послідовності імпульсів для вихідного реєстра.

Функціональна схема телевізійного АК з матричним ПЗЗ аналогічна приведеній на рис. 1. Відмінність у юстировці приладу полягає в тому, що опорна позначка 1, формована об'єктивом

O_2 від БР-180, проектується в нижню частину СН (рис. 2 а), а автоколімаційні зображення від дефлектора Д проектується в штрих-пунктирну зону (позначки 2,3) вище позначення 1 (рис. 2 а).

Опорна позначка «жорстко» утримується опорним елементом на лінії I-I (візирна вісь приладу).

Вимір азимутального розвороту дефлектора щодо візирної осі АК – це вимір неузгодженості шляхом підрахунку кількості осередків між центрами оптичних зображень опорного елемента (позначення 1) і дефлектора (позначення 2) в азимутальній площині з наступним перерахуванням у кутову величину.

Діаметри оптичних міток 1, 2, формованих об'єктивами O_2 і O_1 перевищують розміри ПЗЗ-осередка. Розміри рядків регламентовані розмірами ПЗЗ-осередків – по координатах x, y .

Процес обробки інформації полягає в наступному. Протягом часу T_n заряди накопичуються в тих ПЗЗ-осередках, що знаходяться під мітками 1 і 2. Протягом інтервалу $t_{кт}$ інформація зі СП (144 рядка) зрушується в СП теж у 144 рядки. У секції нагромадження починається новий цикл нагромадження, а із секції пам'яті починається порядковий висновок 144 рядків через вихідний регістр. СП (на рис. 2 а заштрихована), тобто закрита від світла Інформація на виході ПЗЗ, являє собою шумовий сигнал (рівень темного), на тлі якого з'являється не аналоговий відеоімпульс (сплеск), а відеосигнал дискретної (гребінчастої) форми. Ширина й амплітуда гребінки пропорційні кількості освітлених осередків ПЗЗ і величині нагромадження у них зарядів. Далі обробка інформації може виконуватися без будь-якої вторинної обробки форми відеоімпульсу.

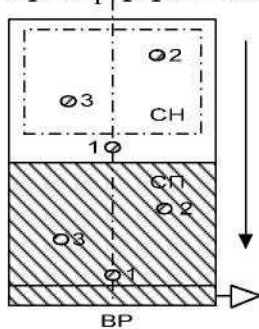


Рис. 2.а Положення опорної позначки 1 і автоколімаційних позначок 2,3 у секції накопичення

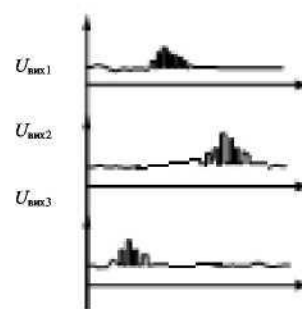


Рис. 2б. Відеосигнал на виході ПЗЗ

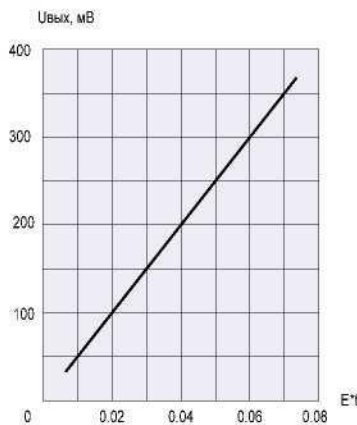


Рис. 3 Світлова характеристика на матриці ПЗЗ А-1018

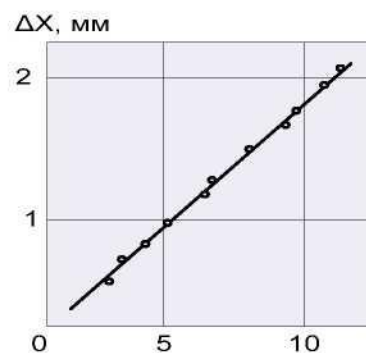


Рис 4 Позиційна характеристика фотоелектричного аналізатора
— розраункова
• • • експериментальна

Якщо амплітуда відеоімпульсу перевищує поріг спрацьовування ФВ, то з виходу БУПС надходить потенціал, пропорційний часу t_1 від моменту спрацьовування ФВН до появи

рядкового імпульсу. У результаті в РСЧ у режимі додавання запишеться число: $N_1 = \frac{t_1}{\tau_p}$,

(14)

де t_1 – період проходження імпульсів зрушення вихідного регістра ПЗЗ.

Одночасно потенціал з БУПС надходить на БЗ, тривалість затримки якого вибирається

з умови: $t_3 = \left(\frac{h_M}{K_{cmp}} + 2 \dots 3 \right) t_{cu}$ (15)

де h – висота влучні; K_{cmp} – розрахункова кількість рядків у мітці; t_{cu} – період проходження рядкового імпульсу; $2 \dots 3$ – запас на розфосовку позначення.

У реверсивний лічильник запишеться число N , тільки від відеоімпульсу першого дотичного рядка, а на відеоімпульси наступних рядків лічильник не реагує. Через час t_3 з виходу БЗ надходить потенціал дозволу на БУОС. Якщо в поле аналізу є автоколлімаційне зображення 2 або 3, то перший дотичний рядок до цього зображення сформує відеоімпульс. А якщо амплітуда відеоімпульсу перевищить поріг спрацьовування ФВН, то запуститься БУОС і сформує інтервал t_2 від моменту появи відеоімпульсу до появи

СИ, і в реверсивний лічильник у режимі вирахування запишеться число: $N_2 = \frac{t_2}{\tau_p}$.

(16)

Процес вирахування закінчується приходом рядкового імпульсу. Після цього БУОС на відеоімпульси наступних рядків у даному кадрі не реагує.

БУПС і БУОС у вихідний стан установлюються черговим кадровим імпульсом.

Таким чином, при аналізі за час кадру T_K одержуємо неузгодженості:

$+\Delta N = N_1 - N_2$, якщо $t_2 < t_1$; $-\Delta N = N_1 - N_2 + 1$, якщо $t_2 > t_1$,

де $-\Delta N$ – неузгодженість у додатковому коді.

Кутовий еквівалент при малих кутах неузгодженості отриманого коду визначається по формулі: $\pm \Delta \alpha = \pm \Delta N \cdot \Delta \varphi$, (17)

де $\Delta \varphi$ – кутова ціна осередку ПЗЗ, кут. сек. $\Delta \varphi = \frac{\Delta x \cdot \rho}{2f}$, (18)

де Δx – лінійний розмір осередку в азимутальному напрямку; f – фокусна відстань об'єктива O_1 ; $\rho = 206265$ – кількість кутових секунд у радіані.

Розглянута схема працює й у «нульовому» режимі. При цьому знак неузгодженості, формований схемою визначення знака СОЗ, фіксується у виді команд «Уліво», «Вправо».

Розглянемо найважливіші характеристики приладу: мінімальний світловий потік F_{min} ; діапазон кутових вимірів; очікувані погрішності виміру кутів.

Величину необхідного світлового потоку оцінимо, виходячи з умови одержання максимального вихідного сигналу $U_{вих\ max}$, скориставшись світловою характеристикою матричного ПЗЗ (рис. 3). З характеристики випливає, що для одержання максимального вихідного сигналу необхідна експозиція 0,1 лк.с. Тоді за час нагромадження $t = 20 \cdot 10^{-3}$ с освітленість у зображенні міток 2 або 3 повинна складати: $E = \frac{H}{t_n} = \frac{0,1}{20 \cdot 10^{-3}} = 5$ лк,

(19)

а світловий потік $F_{min} = E \cdot S = 1,35 \cdot 10^{-9}$ лм,

де S – площа оптичного зображення під електродом нагромадження, рівна $2,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$.

Задаючи фокусну відстань автоколлімаційного об'єктива O_1 по формулі (20) одержимо ентропію (невизначеність), виражену в кутових секундах за рахунок дискретної структури матричного фотоперетворювача, який і буде визначатися, в основному, максимальна похибка виміру.

Для конкретного приладу типу ФПЗЗ-3М при фокусній відстані об'єктива $f = 298,3$ мм ця величина складе $7,25''$ (кут. сек.).

Діапазон виміру кутових неузгодженостей визначається лінійними розмірами фотоперетворювача. При 256 фоточуттєвих елементів в азимутальній площині і розмірі ПЗЗ-елемента 0,021мм діапазон виміру кутових неузгодженостей складе ± 15 кут. хвилин.

Позиційна характеристики ПЗЗ-аналізатора практично лінійна і визначається технологічними похибками виготовлення осередків, що не перевищують 0,2- 0,5мкм (рис. 4). Теоретична позиційна характеристика розраховувалась по виразу: $\Delta x = f \cdot tq2\alpha$, (20)

де Δx – лінійне переміщення штриха; α – кут розвороту дефлектора.

Експериментальні значення отримані при вимірах за допомогою теодоліта ТБ-3 із дзеркальною насадкою, використовуваної як дефлектор. У процесі експерименту ПЗЗ-матриця типу ФПЗЗ-3М працювала в телевізійному режимі з кадровим переносом. Секція збереження (пам'яті) була закрита непрозорою діафрагмою. Стан СН візуалізувалось по ВКУ з одночасною якісною оцінкою опорного і робочого штрихів, а також роз'юстировки в процесі роботи приладу. Проводилося дослідження впливу на роботу приладу відблисків і розподіленого світла. При цьому встановлено:

– у поле зору матриці ПЗЗ-відблиски від світлороздільного кубика і їхнього впливу не спостерігалися; розподілене світло, створюване джерелом світла і денним засвіченням, на точність виміру не впливає;

– збільшення світла (рівномірного) до 10 % від рівня корисного сигналу, навпаки, збільшує ефективність переносу заряду;

– азимутальна нестабільність ПЗЗ-матриці по положенню при відносному методі виміру на точність виміру не впливає;

– середньоквадратичне значення погрішності в «нульовому» режимі виміру не перевищувало 1, 5" (кут. сек.);

– відхилення обмірюваних кутових величин від заданих теодолітом ТБ-3 не перевищує кутової ціни ПЗЗ-елемента.

Крім сказаного, з'явилася можливість одночасного виміру кутів (з однаковою точністю) по двох координатах.

Таким чином, розглянутий метод розрахунку телевізійного АК, що забезпечує нульовий і вимірювальний режими роботи в межах лінійних розмірів ПЗЗ без електромеханічної системи, що стежить, і датчика вал-код як по однієї, так і по двох координатах. А, тому що максимум спектральної чутливості ПЗЗ на рівні 0,9 складає $\lambda = 0,8-0,9$ мкм, то як джерело світла в таких приладах замість ламп накаливання доцільно використовувати як джерела випромінювання інфрачервоні світлодіоди з $\lambda_{изл} = 0,9$ мкм.

Висновок

Розроблена методика розрахунку телевізійного цифрового автоколіматора з просторовим фотоперетворювачем на матричному приладі з зарядовим зв'язком, дозволить візуалізувати поле зображень і спростити юстировку приладу при виробництві.