

УДК 621.382.724

*Дубина О. Ф., канд. техн. наук, старш. викладач
Житомирський державний технологічний університет*

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРИЙМАЧІВ ЗОБРАЖЕННЯ НА ПЗЗ СТРУКТУРАХ ПРИ ЗНІМАННІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ З ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

В даний час отримання інформації про земну поверхню, створення цифрових моделей рельєфу поверхні Землі стало актуальною задачею в картографії, військовій сфері, народному господарстві і т.д. Широкі можливості відкрилися в цих областях діяльності при використанні сучасних літальних засобів: космічних апаратів (КА), літаків, безпілотних літальних апаратів. Для картографії основною є інформація про просторові координати об'єктів на поверхні Землі. Для одержання такої інформації на літальному засобі встановлюється знімальна апаратура, що робить зйомку необхідних ділянок земної поверхні. Останнім часом як приймачі зображення широко застосовуються приймачі, засновані на приладах із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Організація таких приладів за принципом зарядового зв'язку забезпечує можливість зчитування масиву електричних сигналів, що відповідають сцені зображення з мінімальними геометричними і тимчасовими шумами. Датчики зображень на основі ПЗЗ можуть забезпечувати одночасне виконання ряду функцій, таких, як детектування, зчитування і мультиплексування сигналу, а також його обробку в режимі тимчасової затримки й накопичення (ТЗН). Однак, датчики зображень на основі ПЗЗ структур характеризуються деякими специфічними недоліками. Це, у першу чергу, залежність розрізняльної здатності від розмірів чуттєвого елемента, по-друге, наявність теплових шумів датчика, по-третє, наявність утрат при переносі заряду і інерційність переносу. Однією з основних характеристик ПЗЗ приймачів, що впливає на точність визначення координат наземних об'єктів, є розрізняльна здатність (РЗ). Очевидно, що в ПЗЗ максимальна РЗ визначається розміром одного світлочутливого елемента. Реальна РЗ у ПЗЗ нижче за потенційну. При малих рівнях освітленості у світлочутливих елементах накопичуються малі зарядові пакети і велику роль починають грати шуми. У цьому випадку, мінімальний розмір світлочутливого елемента визначається не технологією виготовлення, а умовою одержання необхідного відношення сигнал/шум. Шуми в ПЗЗ можна розділити на дві групи: шуми, обумовлені процесом сприйняття зображення, і шуми, зв'язані з режимом передачі зарядових пакетів (сканування). До першої групи відносяться білий шум у потоці падаючих фотонів (флуктуації щільності потоку) і флуктуації фонового заряду. Розрізняльна

здатність ПЗЗ на низьких рівнях освітленості обмежена головним чином шумами у фоновому заряді і шумами процесу захоплення носіїв. Проведений розрахунок показує, що для забезпечення необхідного відношення сигнал/шум мінімальна площа одного елемента перевищує мінімальну «досяжну технологічну». Для поліпшення даного показника при космічній зйомці доцільне застосування матричного ПЗЗ приймача в режимі тимчасової затримки й накопичення при послідовно-рівнобіжному скануванні. При використанні ПЗЗ рядків для зрушення вихідних сигналів окремих детекторів уздовж матриці з тією ж швидкістю, з якою система сканування зрушує зображення (зі швидкістю руху КА), досягається збільшення відношення сигнал/шум на множник, який дорівнює квадратному кореню з числа світлочутливих елементів у напрямку сканування. Сучасні матриці ТЗН будуються за принципом секціонування. Кожна секція такої матриці дозволяє здійснювати перенесення заряду по стовпцях в сторону регістра. Так як секції управляються незалежно (або частково незалежно), то послідовно відключаючи їх можна регулювати число рядків накопичення, а отже і чутливість ПЗЗ ТЗН. Таким чином здійснюється регулювання чутливості ПЗЗ і розширюється динамічний діапазон ПЗЗ і системи спостереження в цілому. Але для цього необхідно знати кількість рядків або секцій, що необхідно застосовувати для забезпечення потенційних показників якості отриманих знімків. Конструкція приймача зображення буде визначатися наступним чином. Число елементів по ширині матриці ФСЗ N_x визначається необхідною шириною смуги захоплення по Землі з урахуванням масштабного коефіцієнта і розміром елемента A :

$$N_x = \frac{X \cdot f}{H \sqrt{A}} \quad (1)$$

де X – необхідна ширина смуги захоплення по Землі, f – фокусна відстань оптичної системи, H – висота знімання.

Кількість елементів по довжині приймача N_y (кількість рядків або секцій) визначається досягненням необхідного відношення сигнал/шум, при якому реальна розрізняльна здатність визначається мінімальними геометричними розмірами світлочутливого елемента.

У процесі накопичення зарядів еквівалентний світловий потік $N_{из}$, що впливає на кожен наступний елемент, буде збільшуватися в N_y раз. Тому мінімальна «досяжна технологічна» площа одного елемента може бути розрахована за формулою:

$$A = \frac{g \left(\sqrt{1,4 \left(\frac{kT}{q} \right) N_{ss} (N_x + N_y) A_e} + \sqrt{I_d t_u A_e \left(\frac{N_x + N_y}{q} \right)} \right)}{H_{из} t_u C_{из} \theta A_e N_y}, \quad (2)$$

Де I_d – щільність струму термогенерації, n – число передач, N_{ss} – щільність швидких поверхневих станів, k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура, q – величина заряду електрона, ε – коефіцієнт неефективності переносу заряду, t_u – час інтегрування світлочутливим елементом з сприймаючою площею A_e , $H_{из}$ – потік падаючих фотонів, за винятком відбитих, θ – квантова ефективність, $C_{из}$ – контрастність.

Звідси знаходимо кількість елементів по довжині приймача N_y , необхідне для того, щоб реально необхідне значення площі елемента A дорівнювало мінімальній технологічній A_e :

$$N_y = \frac{z^2 + \sqrt{z^4 + 4z^2 N_x}}{2} \quad (3)$$

де

$$z = \frac{g \left(\sqrt{1,4 \left(\frac{kT}{q} \right) N_{ss} A_e} + \sqrt{I_d t_u A_e \left(\frac{N_x}{q} \right)} \right)}{H_{из} t_u C_{из} \theta A_e} \quad (4)$$

Так, при $N_{ss}=5 * 10^{10}$ см⁻²см⁻², $I_d=10$ нА*см⁻², $H_{из}=80000$ лк, $X=10$ км, $T=77$ К, $f=15$ м, $C_{из}=0,2$, $A_e=225$ мкм², $H=300$ км необхідне число елементів по довжині приймача повинне бути рівним $N_y=12$. Тобто, треба застосовувати ПЗЗ з стандартним числом строк $N_y=16$.

Одним з методів зменшення N_y є застосування ПЗЗ з об'ємним каналом переносу заряду. У таких приладах відсутні шуми, зв'язані з захопленням носіїв і перезарядом швидких поверхневих станів при проходженні зарядових пакетів, а аналогічні їм шуми на захоплення носіїв в об'ємних станах на декілька порядків нижче. Слід зазначити, що на шуми, що обмежують розрізняльну здатність істотний вплив робить температура T , для підтримки стабільності якої необхідно застосовувати спеціальні міри. Таким чином, для космічної зйомки поверхні Землі в умовах слабкої освітленості при твердих вимогах до розрізняльної здатності як приймач випромінювання необхідно застосовувати матричний приймач на ПЗЗ - структурах з об'ємним каналом переносу заряду. При цьому розрізняльна здатність досягається рівною «мінімальній технологічній» при найменшій кількості світлочутливих елементів по довжині приймача. Формула (3) дозволяє розрахувати кількість лінійок, що необхідно застосовувати для накопичення сигналу у матричному ПЗЗ-фотоприймачу з поверхневим переносом заряду.