СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

УДК 528.021.7:681.78
DOI 10.18524/1815-7459.2021.3.241081

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ОПТИЧНИХ ЛОКАТОРІВ

В. В. Янко, Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, Л. М. Будіянська

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України
при Одеському Національному університеті імені І.І.Мечникова, ndl_lepikh@onu.edu.ua

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ОПТИЧНИХ ЛОКАТОРІВ

В. В. Янко, Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, Л. М. Будіянська

Анотація. Розроблено метод розширення динамічного діапазону сигналів в оптичних локаторах портативного комплексу, які дозволяють збільшити чутливість та здійснити ефективну просторову і спектральну селекцію сигналів на тлі завад, що впливає на якість виконання задачі виявлення і супроводу аеродинамічних об'єктів. Проведена оцінка можливості виявлення об'єктів у різній завадовій ситуації, тобто виділення сигналів об'єктів з шумів, фонових або внутрішніх, в залежності від методу обробки сигналу.

Ключові слова: комплекс виявлення та розпізнавання, оптичний локатор, об'єкт локації, завадові сигнали, комп'ютерне моделювання

METHOD OF EXPANDING THE DYNAMIC RANGE OF MEASURING SIGNALS OPTICAL LOCATORS

V. V. Yanko, Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, L. M. Budianskaya

Interdepartmental scientific-educational physical and technical center of the MES
and the NAS of Ukraine at the Odesa I.I. Mechnikov National University,
ndl_lepikh@onu.edu.ua

Abstract. A method for broadening the dynamic range of signals in optical locators of a portable complex has been developed, which allows increasing sensitivity and perform effective spatial and

© В. В. Янко, Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, Л. М. Будіянська, 2021

spectral selection of signals against noise, what affects the quality of the detecting and tracking aerodynamic objects task. An assessment of the possibility of object detecting in different interference situations, i.e. the selection of the target signal from noise, background or internal, depending on the method of signal processing.

Keywords: detection and recognition complex, optical locator, location object, interference signals, computer modeling

МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАТОРОВ

В. В. Янко, Я. И. Лепих, В. И. Сантоний, Л. М. Будиянская

Межведомственный научно-учебный физико-технический центр МОН и НАН Украины
при Одесском Национальном университете имени И.И.Мечникова
ndl_lepikh@onu.edu.ua

Аннотация. Разработан метод расширения динамического диапазона сигналов в оптических локаторах портативного комплекса, которые позволяют увеличить чувствительность и осуществить эффективную пространственную и спектральную селекцию сигналов на фоне помех, что влияет на качество выполнения задачи обнаружения и сопровождения аэродинамических объектов. Проведена оценка возможности обнаружения объектов в разной помеховой ситуации, то есть выделения сигнала цели из шумов, фоновых или внутренних, в зависимости от метода обработки сигнала.

Ключевые слова: комплекс обнаружения и распознавания, оптический локатор, объект локации, Завадове сигналы, компьютерное моделирование

Вступ

Виявлення та розпізнавання віддалених наземних і аеродинамічних об’єктів проводиться портативним комплексом за допомогою оптичного локатора. Здійснюється аналіз оптичного випромінювання, що віддзеркалюється від об’єкта, та приймається за переліком ознак рішення про виявлення аеродинамічного повітряного об’єкта. В результаті аналізу параметрів відбитого сигналу можуть бути виміряні координати, кутові і лінійні швидкості, орієнтація об’єкта в просторі і т.п. Лазерне випромінювання є монохроматичним, когерентним, спрямованим, інтенсивним і поляризованим, що дає можливість формувати вузькі діаграми спрямованості при порівняно невеликих розмірах передавальних оптичних систем. У оптичному локаторі використовується можливість генерувати дуже короткі і потужні імпульси випромінювання. Високі частоти оптичного сигналу дозволяють вимірювати малі швидкості переміщення об’єкта. Невелика ширина діаграми спрямованості дає можливість практично усувати відображення від земної поверхні. Оптичні локатори володіють високою точністю і роздільною здатністю при вимірюванні дальності і кутових координат об’єкта локації, завадо захистом і невеликими розмірами. Однак вони мають і певні недоліки: сильне ослаблення оптичного випромінювання при дощі, снігу і в тумані, а також складність наведення вузького променя на об’єкт локації і отримання великих полів огляду. Однак праць присвячених оптичним локаторам, що працюють зі швидкісними об’єктами на малих відстанях в різній завадовій обстановці в різних режимах практично немає.

Мета роботи

Метою даної роботи є аналіз можливості збільшення динамічного діапазону чутливості комплексу, що розробляється на засаді оптичного локатора. Для відповідності вимогам ведення розвідки необхідно, щоб сучасні оптичні локатори виявляли об'єкти на максимальному видаленні при будь-яких завадових умовах. Найбільш важливими є фактори, що впливають на якість виконання задачі виявлення і супроводу аеродинамічних об'єктів. Завдання виявлення об'єкту полягає у виділенні сигналу на виході створюваного портативного комплексу з сигналу завади, створюваного зовнішніми і внутрішніми шумами. При виявленні повітряних об'єктів фоном є небо, хмари, яскравість якого залежить від метеоумов та різних завад, штучних та природних. Освітленість, створювана фоном, залежить від яскравості фону, діаметра вхідної апертури, фокусної відстані, коефіцієнта ослаблення оптичної системи і коефіцієнта ослаблення випромінювання середовищем поширення. Для оцінки можливості виявлення об'єкта при різній фонової обстановці, існують різні підходи в залежності від методу подальшої обробки сигналу. Це зокрема обчислення відношення сигнал / шум по всьому полю зору оптичного локатора. Застосувавши просторово-часову обробку сигналу можна значно підвищити чутливість системи оптичного локатора.

В оптичних каналах різних систем світловий промінь несе локаційний сигнал, за допомогою модуляції його фізичних параметрів. Зміна чисельних значень цих параметрів може досягати значень до 2^{12}. Оптичний сигнал локаторів змінює середовище поширення, що є некерованим процесом. В оптичних локаторах у більшості випадків використовують випромінювання напівпровідникових лазерів. Яскравість світлового променя випромінювача модулюється зокрема по амплітуді за необхідним законом. Під динамічним діапазоном локатора $D_{ол}$ будемо визначати відношення найбільшого та найменшого за рівнем світлового потоку через вхідний отвір об'єктива, за умов збереження повноцінного функціонування. Відношення максимального та мінімального потоків через отвори вихідного (випромінюючого) та вхідного (приймального) об'єктивів – динамічний діапазон оптичного каналу $D_{ок}$. Цей показник відповість на питання на якій відстані до об'єкта та через які завади буде діяти локатор, та порівнювати різні прилади локації. Якщо рівень випромінювання I_o є змінним, можна говорити про динамічний діапазон випромінювання

$$D_{ВП} = \frac{Io.max}{Io.min}.$$

Значення цих показників можна відображати у лінійній або логарифмічній шкалі.

Основні причини змін рівнів оптичного сигналу, що перетинає середовище поширення:

У міру того як випромінювання віддаляється від джерела, воно проходить через середовище поширення, площа якого S збільшується пропорційно квадрату відстані від джерела R.

Отже, інтенсивність випромінювання обернено пропорційна квадрату відстані від джерела, оскільки площа поверхні сфери зростає пропорційно квадрату радіуса. Таким чином, сила поля обернено пропорційна квадрату відстані від джерела. Зворотно-квадратична залежність світлового потоку через вхідний отвір об'єктива $I(l)$ від дистанції l до об'єкта локації в класичній схемі лазерної локації визначається з співвідношення

$$I(l) = I_o k \frac{\rho}{l^2}, \qquad (1)$$

де I_0 – потік випромінювання,

ρ – коефіцієнт відбиття,

k – коефіцієнт що враховує решту параметрів.

Закон зворотних квадратів для лазерного локатора показано на рисунку 1.

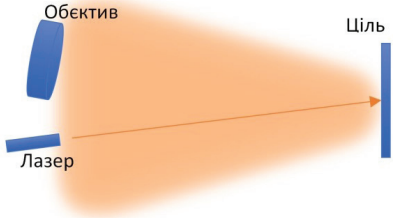


Рис. 1. Закон зворотних квадратів для лазерного локатора

Інтенсивність випромінювання, яке повертається після відбивання від об'єкта, також обернено пропорційна квадрату відстані від джерела випромінювання до об'єкта, тому зворотно-ступенева залежність світлового потоку випромінювача скрізь вхідний отвір приймача буде четвертого порядку та визначається з співвідношення:

$$I(l) = I_o k \frac{\rho}{l^4} . \qquad (2)$$

Залежність ***I(l)*** від дистанції локації ***l*** для несфокусованого випромінювання в разі сферичної діаграми спрямованості випромінювача і об'єкта локації знаходиться всередині, що показано на рисунку 2. Такі оптичні схеми часто застосовуються в датчиках наближення.

Рис. 2. Залежність *I(l)* від дистанції локації *l* для несфокусованого випромінювання

У разі однорідності атмосфери ослаблення оптичного сигналу описується законом Бугера – Ламберта – Бера.

$$I(l) = I_o e^{-k_\lambda l} , \qquad (3)$$

де: I_0 та ***I(l)*** – потоки вхідного та вихідного променів;

l – товщина середовища, через який проходить світло;

k_λ – індикатор поглинання, коефіцієнт, що характеризує властивості середовища і залежить від довжини хвилі світла, що поглинається $k_\lambda = a \cdot c$,

c – концентрація розчиненої речовини,

a – коефіцієнт, залежний від k_λ.

Значення $1/k_\lambda$ має розмір довжини і показує характерну відстань, при якій інтенсивність падає у ***e = 2.718*** разів. При локації об'єкта промінь долає товщину середовища два рази, тобто проходить дистанцію, що дорівнює ***2l***.

Поглинання та розсіювання оптичного сигналу середовищем поширення (повітря, аерозолі, пил, дим), що призводить до зміни його інтенсивності, показано на рисунку 3.

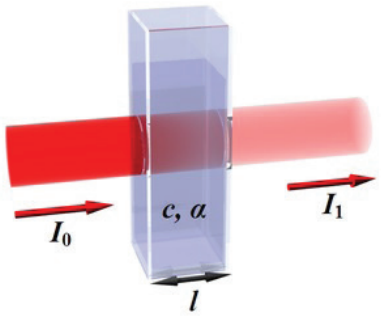


Рис. 3. Зміна інтенсивності оптичного сигналу середовищем

На динамічний діапазон локатора впливають різні фактори та чинники: оптичні завади штучні та природні, такі як сонце, блискавки, вибухи та піротехніка, прилади освітлення, лазерні генератори перешкод (військового призначення). Відбувається звуження динамічного діапазону $D_{ол}$, якщо завади чи перешкоди значно перевищать рівень шуму фотоприймача. Перелічені фактори впливу на динамічний діапазон часто діють одночасно, що треба враховувати при розрахунку чи моделюванні залежності рівня прийнятого сигналу від дистанції до цілі. Цей параметр локатора впливає найбільше на зміну рівня прийнятого сигналу, і від спільної дії багатьох факторів приймає ще більш крутого (за графіком) характеру.

Розрахуємо зміну рівня оптичного сигналу $D_{ос}$ від зміни дистанції у ***N*** разів для лазерного локатора з урахуванням вищезгаданих чинників, допустивши спрощення геометрії поширення променів

$$D_{OC} = 10 \lg \frac{I(l)}{I(N \cdot l)} (dB) , \qquad (4)$$

$$D_{OC} = 10\lg \frac{I_0 \kappa \frac{\rho}{l^2} \cdot e^{-\kappa_\lambda 2l}}{I_0 \kappa \frac{\rho}{(N \cdot l)^2} \cdot e^{-\kappa_\lambda 2(N \cdot l)}} = 20\lg N + 8{,}686 \cdot \kappa_\lambda \cdot l \cdot (N-1)(dB) \ . \qquad (5)$$

У виразі (5) перша складова $20\lg N$ є внеском у затухання оптичного сигналу закону зворотних квадратів, а друга – $8{,}686 \cdot k_\lambda \cdot l \cdot (N-1)$ – затухання від поглинання та розсіювання.

Зробимо розрахунки для декількох значень ***N***, де один крок дорівнює 0,1м. Для прикладу k_λ візьмемо рівним 10^{-7} cm^{-1}. Дані розрахунків зведено у таблицю 1, яка демонструє зміни рівня оптичного сигналу $\boldsymbol{D_{oc}}$ від зміни дистанції у ***N*** разів.

За даними з таблиці 1 побудовано графік оцінки характеру зміни рівня оптичного сигналу від дистанції до об'єкта, наведений на рисунку 4.

З отриманих даних слідує висновок: поглинання оптичного сигналу стає суттєвим з певної відстані. Якщо об'єкт локації рухається з постійною швидкістю, то рівень сигналу фотоприймача змінюється у часі як наведено на графіку (рисунок 4). Це дає певні вхідні дані для розрахунку автоматичного регулювання підсилення, зокрема вимог до швидкодії його вузлів.

Проблеми, пов'язані зі значною зміною рівня оптичного сигналу

Зміна рівня оптичного сигналу може виявитися більше динамічного діапазону фото- приймального приладу. Для малих сигналів, в тому числі в інфранізькому діапазоні

Таблиця 1

Зміни рівня оптичного сигналу D_{oc} від зміни дистанції у *N* разів

	N, рази по відношенню до 0,1 метра								
	1	**3**	**10(1m)**	**30**	**100**	**300**	**1000**	**10000(1km)**	**20000(2km)**
$\boldsymbol{D_{oc}}$, dB	0	9.5	20.00078	29,5076	40,0826	50,28	68,67	179,99	486
20lgN, dB	0	9.5	20	29.5	40	49.5	60	80	86
$20k_\lambda l(N-1)$, dB	0	→0	0.00078	0,0076	0,0826	0,78	8,67	99,99	400

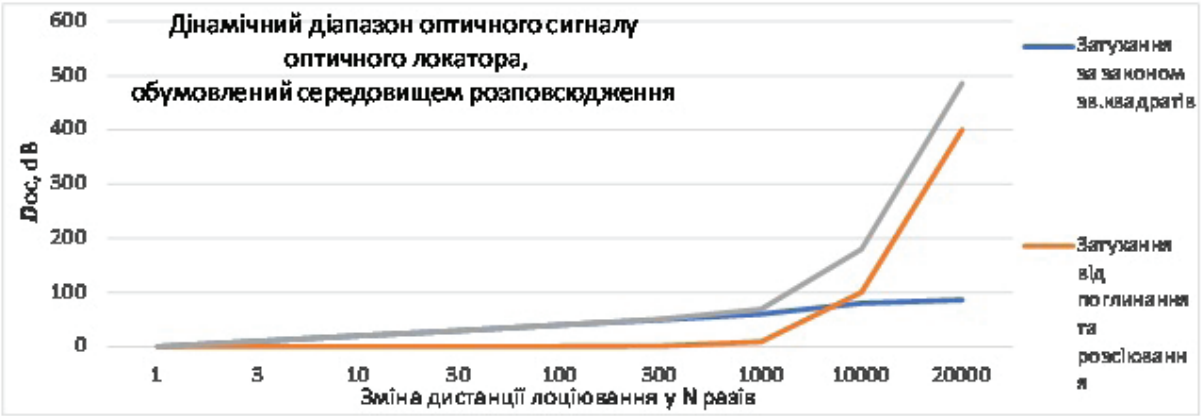


Рис. 4. Графік зміни рівня оптичного сигналу від дистанції до об'єкта

(0,1 – 0.001 Hz), обмеження визначається шумами цих приладів. Для великих сигналів – їх нелінійними властивостями і максимальною напругою живлення.

Значне ослаблення оптичного сигналу на вході приймальної частини оптичної системи призводить до негативного впливу оптичних перешкод на функціональні показники його роботи, зниження точності визначених параметрів, пропуску об'єктів, помилкового спрацювання і т.і. Значні зміни рівня прийнятого оптичного сигналу приводять до ускладнення блоків обробки, а саме збільшення розрядності АЦП, необхідності фільтрації шумів і перешкод, які приєдналися до корисного сигналу, підвищуються вимоги до якості блоків живлення, ускладнюється програмне забезпечення, збільшується час розробки. Застосування багаторозрядних, швидкодіючих АЦП, стійких до перешкод суттєво підвищує вартість комплектуючих.

Оптичний канал: випромінювач – середовище поширення – фотоприймач доводиться розраховувати або моделювати як аналогову частину системи, навіть якщо модуляція оптичного сигналу є кодова (цифрова). Тобто, при проектуванні оптичного локатора, не вдається відокремитися від аналогових характеристик оптичного каналу.

Однак можна виділити **два основні прийоми**:

1. Введення автоматичного регулювання підсилення (АРП) сигналу в ланцюгах після фотоприймача

Э доцільним частину необхідної обробки сигналу спроектувати в аналоговому виконанні. Наприклад, це може бути частотна селекція, гетеродинування, випрямлення модульованого сигналу або маніпуляція за рівнем, фазою чи частотою сигналу.

Автоматичне регулювання підсилення електронного сигналу в ланцюгах після фотоприймача зменшує вимоги до динамічного діапазону цих ланцюгів, погоджує динамічний діапазон аналогової і цифрової частин блоку обробки в цілому, а також дозволить обмежитися розрядністю АЦП та його якісними характеристиками в оптимальному ціновому діапазоні.

На відміну від класичної схеми АРП з незалежним зворотним зв'язком, пропонується побудова зворотного зв'язку через програмовану частину блоку обробки сигналу на базі мікроконтролера. Рішення дозволяє регулювати посилення по гнучким логічним алгоритмам, врахувати та змінювати швидкісні, точністні характеристики сигналів і адаптувати їх в процесі функціонування оптичного локатора.

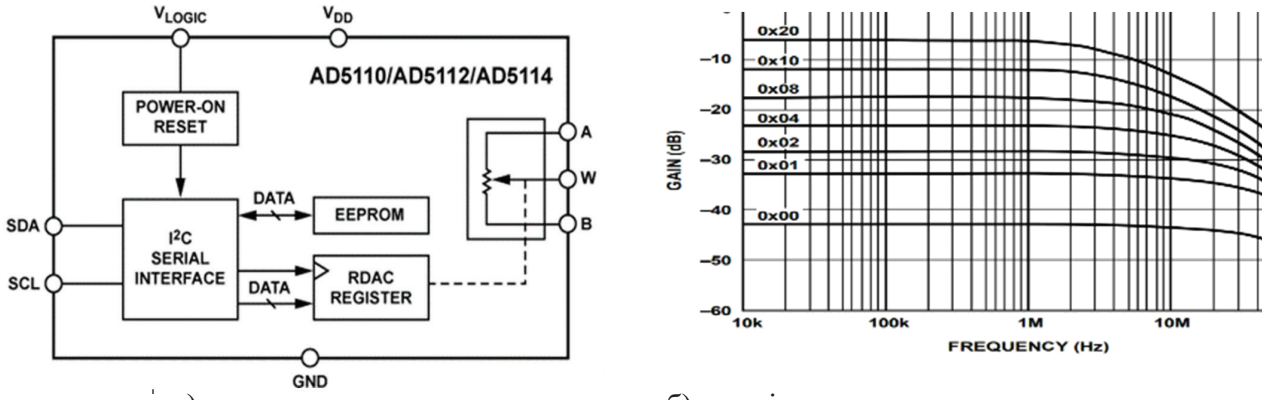
Успішній реалізації такого рішення сприяє поява в останні роки нових радіоелектронних компонентів, управління якими можна здійснювати цифровим кодом. Для них розроблено і впорядковано достатню кількість програмних бібліотек і прикладів застосування.

Для програмного керованого аналогового регулятора рівня сигналу, прийнятого фотоприймачем, пропонується застосувати інтегровані цифрові потенціометри (рисунок 5), що поставляються на ринок низкою провідних виробників радіоелектронних компонентів. Вони являють собою ланцюжок резисторів з однаковим опором і така ж кількість КМОР ключів, об'єднаних на загальний вихідний контакт.

Блок управління мікросхеми декодує цифровий сигнал інтерфейсу I^2C і включає один з ключів (рисунок. 5 а). На відміну від ЦАП що перемножують з матрицею R-2R, на яких також можна побудувати атенюатор, керований цифровим кодом, цифрові потенціометри мають більш високі характеристики по смузі пропускання (рисунок 5 б), тому що в них сигнал проходить тільки через 1 ключ.

Структурна схему приймального вузла оптичного локатора, що розпізнає свій сигнал за частотою модуляції оптичного сигналу за рівнем наведена на рисунку 6.

Для розширення діапазонна регулювання застосовано два цифрових потенціометра, що придушують сигнал у 256 разів кожен. У схемі вони підключені послідовно, що дає можливість послаблювати електричний сигнал у 65536 раз. Після цифрових потенціометрів підключено смуговий фільтр, що пропускає сигнал у смузі навколо 60 kHz. Далі сигнал



а) структурна схема б) амплітудно-частотна характеристика

Рис. 5. Цифровий потенціометр Analog Devices AD5110

випрямлюється та поступає на вхід 12-розрядного АЦП. Перетворений у цифрову форму сигнал через послідовний інтерфейс I²C потрапляє до мікроконтролера.

Мікроконтролер здійснивши необхідні алгоритмічні операції також через інтерфейс I²C записує код керування у регістри цифрових потенціометрів.

Алгоритм регулювання рівня може здійснюватися як класичним PID регулюванням так і різними варіантами лінійного пошука. Робота будь-якого з алгоритмів повинна включати можливість обчислити реальний рівень вхідного оптичного сигналу, так як це необхідно для роботи локатора:

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{U_{1b} \cdot B_{\text{АЦП}} \cdot \left(\frac{65536 - B_{\text{ЦП}}}{65536}\right)}{S_{\text{фп}} \cdot R \cdot K_{\text{ус}}}, \qquad (6)$$

де: $I_{\text{ВХ}}$ – потік через вхідний об'єктив(W);

$S_{\text{фп}}$– чутливість фотодіода за довідником 0,5 $(\frac{A}{W})$;

R – опір зворотного зв'язку трансімпедансного підсилювача (kOm);

$K_{\text{ус}}$ – добуток коефіцієнтів підсилення буферних підсилювачів;

$B_{\text{АЦП}}$ – код поточної вибірки АЦП (12 розрядів);

$B_{\text{ЦП}}$ – код записаний у регістр цифрового потенціометра(16 розрядів);

U_{1b} – вага одного розряду АЦП (V).

Практично ефективним виявився спрощений алгоритм цифрового лінійного пошуку, що показаний на рисунку 7, який дозволяє працювати з сильно перевантаженим сигналом.

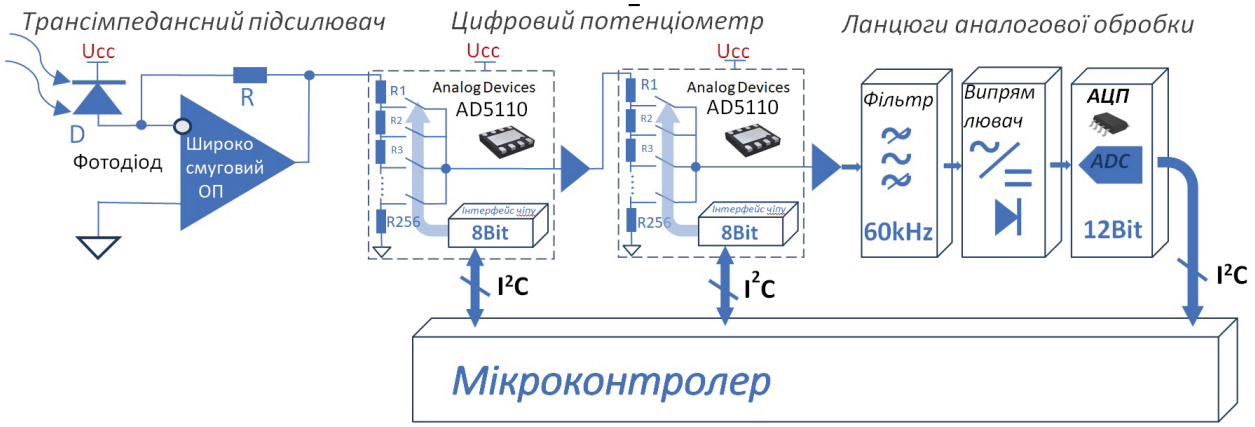


Рис. 6. Структурна схема приймального вузла оптичного локатора, де контур зворотного зв'язку АРП прийнятого фотоприймачем сигналу є замкнутим програмно

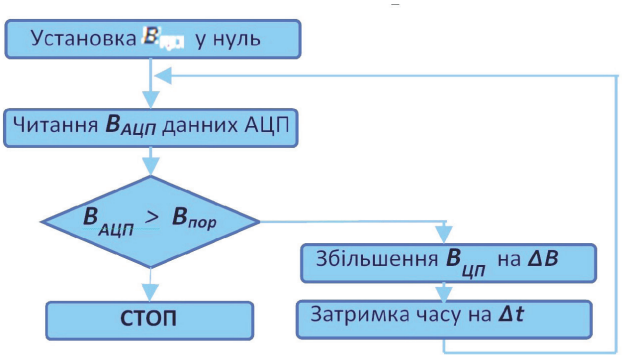


Рис. 7. Алгоритм цифрового лінійного пошуку

За такого підходу значно розширюється реальний динамічний діапазон оптичної системи $D_{ол}$, без розширення динамічного діапазону аналогової частини тракту обробки.

Технічною умовою реалізації такого алгоритму є наявність ланки в аналоговій частині з симетричним двостороннім обмеженням сигналу – властивість схемотехніки операційних підсилювачів (не всіх, а певних). Алгоритм працює тільки в сторону зменшення рівня. Така логіка підходить для випадку наближення об'єкта до локатора. Обмеження – об'єкт не буде віддалятися, причому поява в полі зору об'єкта може бути раптовою.

Не дивлячись на просту логіку та обмеження для багатьох практичних випадків алгоритм виявляється оптимальним. Він працює без значних перехідних процесів, оскільки у ланцюг зворотного зв'язку закладена лінійна функція першого порядку, але в той же час поріг спрацьовування дуже близький до порога обмеження (обраний в діапазоні 10% від порога обмеження).

Як наслідок маємо гарантований час попадання сигналу у лінійний режим, за умови прив'язки циклу алгоритму до циклу АЦП. Переваги алгоритму – забезпечення динамічного діапазону до 110 Дб без дорогих комплектуючих та максимальна стійкість. Недоліком є максимальний час захоплення, оскільки в основу закладено лінійний пошуковий алгоритм.

2. Автоматичне регулювання потужності випромінювання.

Додаткове зниження зміни діапазону оптичного сигналу на вході оптичного приймача можливо досягти застосуванням автоматичного регулювання потужності випромінювання. Блок обробки оцінює рівень прийнятого сигналу і, відповідно до вибраного типу автоматичного регулювання, керує потужністю випромінювання.

Для АРП по випромінюванню є справедливим співвідношення:

$$\mathbf{D_{ОК} = D_{ВП} + D_{ОЛ}\,(dB)}\,. \qquad (7)$$

Співвідношення (7) демонструє, що АРП по випромінюванню дозволяє спростити вимоги до приймального тракту, чи покращити функціональні можливості локатора загалом, розширюючи, наприклад, діапазон дистанцій до об'єкта.

Необхідно враховувати, або моделювати динамічну поведінку системи зі зворотним зв'язком через оптичний канал. При цьому оптичний канал є ланкою ланцюга зворотного зв'язку з змінливими у часі параметрами.

Можна ігнорувати реактивну складову в моделі цих ланцюгів, в наслідок безінерційної природи поширення світла. Необхідно враховувати часову затримку сигналу в оптичному каналі. Ця затримка є лінійною функцією дистанції.

На рисунку 8 наведено структурну схему передавального вузла локатора.

Застосовується схема генератора струму на pnp транзисторі **Q1** з емітерним опором $\mathbf{R_I}$, що визначає мінімальний струм через лазерний діод $\mathbf{D_L}$ (струм запалення лазера). Паралельно до $\mathbf{R_I}$ періодично під'єднується опір $\mathbf{R_{I\sim}}$ за допомогою MOSFET **Q2**, та підіймає силу струму до максимального значення. У свою чергу, затвором MOSFET керує GPIO вивід мікропроцесора. На цьому виводі програмно формується сигнал модуляції. Корисна інформація вводиться в оптичний сигнал у вигляді імпульсної модуляції і може бути ШІМ, ЧІМ та іншого типу.

Також при невеликих змінах можна використовувати модуляцію оптичного сигналу аналоговим сигналом. Модуляційна характеристика лазерного діода не є лінійною. Це зна-

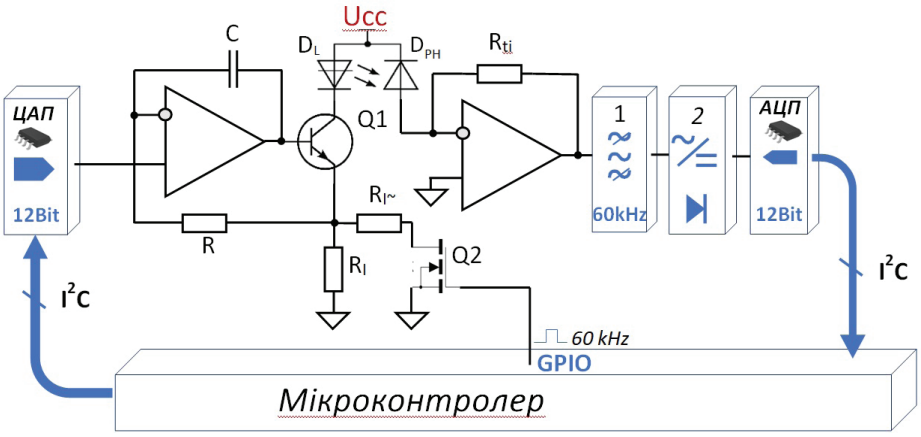


Рис. 8. Структурна схема передавального вузла оптичного локатора

чно ускладнює пошук режимів сталої роботи такої системи автоматичного регулювання. Рівень потужності випроміненого сигналу визначається вбудованим в лазерний діод фотодіодом та ланцюгом надання цієї інформації у мікроконтролер. Така конфігурація надає можливості побудови програмного PID регулювання.

Існує широкий вибір програмних бібліотечних функцій для розрахунку, налаштування та компіляції оптимальних програмних блоків, що роблять з мікроконтролера PID регулятор. Найкраще співвідношення пропорційної, диференційної та інтегральної складових для оптичних локаторів підбирається на етапі натурних випробувань. Для цього можуть бути написані службові тестові програмні модулі. Якщо прості рішення не задовольняють, треба застосовувати адаптивну зміну параметрів PID складових, для різних етапів та режимів роботи локатора.

Важким для обох типів АРП є випадок раптового попадання траси проходження оптичного променя в зону з іншими характеристиками прозорості, розсіювання, або часткового перевідбиття. Це призводить до імпульсної зміни характеристик, що описують оптичний канал як систему автоматичного регулювання. Виникає перехідний процес, протягом якого можливе припинення повноцінного функціювання оптичного локатора. Ще більш очевидним джерелом збурення в петлі регулювання буде раптова поява у полі зору нової цілі. З причин нестійкої роботи петлі зворотного зв'язку, чи складних перехідних процесів доводиться відмовлятися від АРП по випромінюванню. Це може бути пов'язано з особливостями конкретної реалізації оптичного локатора, вимогами до його характеристик. В цьому випадку можна обмежитися АРП у ланцюгу фотопідсилювача.

Висновки

Сумісне використання у каналах випромінювача та фотоприймача оптичного локатора АРП на засаді розроблених схемо-технічних рішень дозволяє отримати динамічний діапазон вимірювального сигналу на рівні 130 Дб, що відповідає кращим світовим зразкам.

В процесі проектування та моделювання оптичних локаторів раціонально застосування методу дискретно-часового варіювання параметрів узагальненої PSPICE моделі та введення двох видів автоматичного регулювання підсилення (АРП) сигналу в ланцюгах після фотоприймача.

Метод дозволяє за допомогою комп'ютерного моделювання всебічно вивчити поведінку оптичного локатора у динаміці, побудувати дистанційні характеристики при різних траєкторіях і швидкостях переміщення об'єкта, а також оцінити вплив рухомих оптичних завад (листя дерев, сітки та інше). Інструменти методу надають можливість отримати симуля-

цію роботи оптичного локатора як єдиної динамічної системи за допомогою узагальненої PSPICE моделі оптичної локаційної системи. Після декількох циклів формалізованих процедур, ми маємо схему у форматі PSpice з обґрунтованими підсхемами заміщення.

Введення АРП сигналу в ланцюгах після фотоприймача зменшує вимоги та погоджує динамічний діапазон аналогової і цифрової частин блоку обробки в цілому, дозволяє обмежитися розрядністю АЦП та його якісними характеристиками в оптимальному ціновому діапазоні.

Автоматичне регулювання потужності випромінювання призводить до додаткового зниження зміни діапазону оптичного сигналу на 20 Дб на вході оптичного приймача.

Список використаної літератури.

[1]. Lepikh Ya. I., Yanko V. V., Santoniy V.I. Kompyuternyy syntez i analiz shyrokokutnoho pryymal′noho pryladu optychnoho lokatora // Sensorna elektronika i mikrosystemni tekhnolohiyi, 2019 – T. 16, № 3, P. 31-38. DOI:http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2019.171244. http://www.semst.onu.edu.ua/ru/semst_annot.htm

[2]. Santoniy V., Yanko V., Lepikh Ya. Modeling Method of Optoelectronic Sensors Functioning in Dynamic Mode // The world of science and innovation. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 134-139. URL: https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/

[3]. Santoniy V., Yanko V., Budiyanska L., Ivanchenko I., Lepikh Ya. Computer and mathematic modeling of the development and creation of high-precision location optoelectronic measuring systems systems/ https://sci-conf.com.ua/ii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-science-and-education-problems-prospects-and-innovations-4-6-noyabrya-2020-goda-kioto-yaponiya-arhiv/

[4]. Santoniy V., Yanko V. Computer modeling of the laser module of aerodynamic objects structure // Sur les materiaux de la conference scientifique et pratique internationale “La science et la technologie a l’ere de la societe de l’information”, 3 mars, 2019, Bordeaux, France, Volume 4, P. 76-79. ISBN 978-617-7171-80-4

[5]. Yanko V. V. PSpice-modelirovaniye optiko-elektronnykh lokatorov // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. – 2006. – № 4. – S. 14-17.

[6]. Wei Yi. Automatic Aircraft Recognition Using Maximum Likelihood Ratio Test. // Proceedings of the 6th International Computer Science Conference on Active Media Technology. 2001. p321-326.

[7]. Kim J. Automatic aircraft recognition and identification //PhD thesis. School of Electrical, Computer and Telecommunications Engineering, University of Wollongong, 2005.

[8]. Alpatov B. A., Murav’yev V. S., Murav’yev S. I. Obrabotka i analiz izobrazheniy v sistemakh avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya vozdushnykh ob»yektov // Ryazan’, 2012. 112 s.

[9]. Khmarov I. M., Kanivets V. Yu., Kondrashov N. G. Metod avtomaticheskogo raspoznavaniya malozametnykh nazemnykh tseley bortovymi lazernymi lokatsionnymi sredstvami // Uspekhi sovremennoy radioelektroniki. 11. 2010. C.86-90.

[10]. Mirzoyan A. S., Malyshev O. V., Khmarov I. M., Kanivets V. Yu. Raspoznavaniye letatel’nykh apparatov opticheskoy sistemoy v real’nom masshtabe vremeni //Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 5 – M.: MAI, 2014, S. 145-156.

[11]. 11. Malyshev V. A., Malyshev O. V., Mirzoyan A. S., Khmarov I. M., Kanivets V. Yu., Kondrashov N. G., Vishnyakov A. S. Raspoznavaniye nazemnykh ob”yektov i letatel’nykh apparatov 2-D i 3-D optiko-elektronnymi sistemami. //M.: FGUP «NTTS «Inform-tekhnika», 2013, 158 s.: il

[12]. Chislennyye metody opredeleniya prostrastvennogo polozheniya letatel’nogo apparata na osnove 2D-opticheskikh izobrazheniy

//Programmnyye produkty i sistemy. 3 – Tver': NII «TSPS», 2015, S. 33-41.

[13]. Mirzoyan A. S. Vydeleniye ob"yektov nad podstilayushchey poverkhnost'yu v zadache raspoznavaniya lazernymi lokatsionnymi sredstvami //Trudy 55-y nauchnoy konferentsii MFTI. Radiotekhnika i kibernetika. Tom 1. – M.:MFTI, 2012, S. 114.

Стаття надійшла до редакції 13.08.2021 р.

UDC 528.021.7:681.78
DOI 10.18524/1815-7459.2021.3.241081

METHOD OF EXPANDING THE DYNAMIC RANGE OF MEASURING SIGNALS OPTICAL LOCATORS

V. V. Yanko, Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, L. M. Budianskaya

Interdepartmental scientific-educational physical and technical center of the MES and the NAS of Ukraine at the Odesa I.I. Mechnikov National University, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

A method for broadening the dynamic range of signals in optical locators of a portable complex has been developed, which allows increasing sensitivity and perform effective spatial and spectral selection of signals against noise, what affects the quality of the detecting and tracking aerodynamic objects task. An assessment of the possibility of object detecting in different interference situations, i.e. the selection of the target signal from noise, background or internal, depending on the method of signal processing.

A method of discrete-temporal variation of the parameters of the generalized PSPICE model and the introduction of two types of automatic control of signal gain (AGC) in electrical circuits after the photodetector, and automatic control of radiation power are proposed. The method allows studying the behavior of the optical locator in dynamics with the help of computer modeling, to construct remote characteristics at different trajectories and velocities of objects and to estimate the influence of moving optical interference. The tools of the method make it possible to simulate the operation of the optical locator as a single dynamic system using a generalized PSPICE model. The analysis of the main causes of changes in the levels of the optical signal the propagation medium is crossed is carried out. The graph of the nature of the change depending on the distance to the object is constructed, taking into account interference factors.

Keywords: detection and recognition complex, optical locator, location object, interference signals, computer modeling

УДК 528.021.7:681.78
DOI 10.18524/1815-7459.2021.3.241081

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ОПТИЧНИХ ЛОКАТОРІВ

В. В. Янко, Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, Л. М. Будіянська

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України
при Одеському Національному університеті імені І.І.Мечникова, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

Розроблено метод розширення динамічного діапазону сигналів в оптичних локаторах портативного комплексу, які дозволяють збільшити чутливість та здійснити ефективну просторову і спектральну селекцію сигналів на тлі завад, що впливає на якість виконання задачі виявлення і супроводу аеродинамічних об'єктів. Проведена оцінка можливості виявлення об'єктів у різній завадовій ситуації, тобто виділення сигналів об'єктів з шумів, фонових або внутрішніх, в залежності від методу обробки сигналу.

Запропоновано метод дискретно-часового варіювання параметрів узагальненої PSPICE моделі та введення двох видів автоматичного регулювання підсилення (АРП) сигналу в електричних ланцюгах після фотоприймача, та автоматичного регулювання потужності випромінювання. Метод дозволяє за допомогою комп'ютерного моделювання вивчити поведінку оптичного локатора у динаміці, побудувати дистанційні характеристики при різних траєкторіях і швидкостях переміщення об'єктів та оцінити вплив рухомих оптичних завад. Інструменти методу надають можливість отримати симуляцію роботи оптичного локатора як єдиної динамічної системи за допомогою узагальненої PSPICE моделі. Проведено аналіз основних причин змін рівнів оптичного сигналу, що перетинає середовище поширення. Побудовано графік оцінки характеру зміни в залежності від дистанції до об'єкта з урахуванням завадових чинників.

Ключові слова: комплекс виявлення та розпізнавання, оптичний локатор, об'єкт локації, завадові сигнали, комп'ютерне моделювання