

УДК 681.37

С.С. ТУЖАНСЬКИЙ, В.І. МАЛНОВСЬКИЙ, І.А. ПАЛАНЮК, А.М. САХНО

ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОЇ РОЗГОРТКИ ДЛЯ СИСТЕМ ВІДТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, Україна,
тел.: (0432)598-492, E-mail: tirexlink@mail.ru*

Анотація. В роботі проаналізовано сучасні методи, технології та пристрої лазерної розгортки для відтворення графічної інформації і зображень. Розглянуто основні параметри існуючих пристроїв та визначено основні переваги і недоліки. Проаналізовані основні характеристики способів розгортки при лазерному відтворенні з метою вибору найбільш оптимального для конкретного випадку.

Аннотация. В работе проанализированы современные методы, технологии и устройства лазерной развертки для визуализации графической информации и изображения. Рассмотрены основные параметры существующих приборов и определены основные преимущества и недостатки. Проанализированы основные характеристики способов развертки при лазерном воспроизведении с целью выбора наиболее оптимального для конкретного случая.

Abstract. This paper analyzes the existing methods and devices for laser scanning for data visualization. It's considered their basic parameters and the main advantages and disadvantages. Also analyzed the main characteristics of this methods of laser scanning to select the most appropriate for the particular case.

Ключові слова: лазерна розгортка, модулятор, дефлектор, лазерний промінь.

ВСТУП

Останнім часом стрімко розвивається галузь відтворення візуальної інформації для зовнішньої реклами і світлових шоу на великих площах. Одне з передових місць в ній займають лазерні системи відображення інформації. Подальше удосконалення якості відтворення інформації та зображень пов'язано із розвитком методів і засобів збільшення роздільної здатності, яскравості, контрастності та коефіцієнта передачі кольору зображення. Особливо гостро це питання постає при відтворенні зображень та іншої графічної інформації на великих екранах та фасадах будівель. До недавнього часу для цього використовувались традиційні підходи, що базуються на використанні потужних RGB-проекторів та класичних електроосвітлювальних приладів із застосуванням світлофільтрів, які формують світло певного кольору [1-3]. В останні роки у зв'язку із розвитком лазерних та оптико-електронних технологій все більш розповсюдженим стає використання лазерів. Останні мають такі переваги у порівнянні з традиційними джерелами випромінювання, як значно більш високі показники яскравості й контрасту, монохроматичність, мале енергоспоживання. Крім того, при формуванні світлових ефектів за допомогою лазерного випромінювання з використанням сучасних технологій мультимедіа і комп'ютерної графіки, стає можливим створення недосяжних для традиційних проекторів об'ємних (3D) візуальних ефектів, забезпечуючи при цьому краще зорове сприйняття візуальної інформації за рахунок високої контрастності, енергетичної яскравості та малої розбіжності лазерного випромінювання [3-5].

Очевидно, що значну роль у якості відтворення візуальної інформації такою системою відіграє технологія розгортки променів лазера. Враховуючи велику кількість таких технологій, важливим для вибору відповідної системи є аналіз їх основних недоліків і переваг.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз сучасних технологій лазерної розгортки для систем відтворення зображень на великих екранах для вибору найбільш оптимальної реалізації з урахуванням максимально можливих техніко-економічних показників.

МЕТОДИ ВІДТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОЇ РОЗГОРТКИ

Лазерні джерела часто пропонувалося використовувати для отримання керованого світлового потоку в проекційних системах індикації. Узагальнену структурну схему лазерного пристрою для виведення інформації представлено на рис. 1.

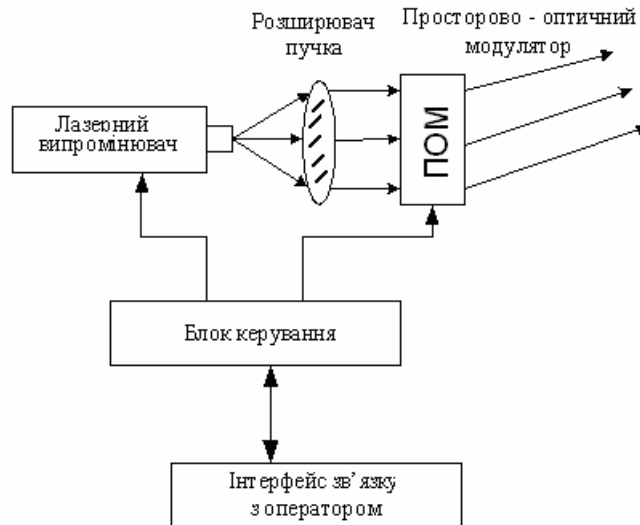


Рис.1. Узагальнена структурна схема лазерного пристрою для виведення інформації

Просторовий модулятор світла (дефлектор) призначений для накладення змінної в часі інформації на випромінювання лазера шляхом зміни в часі його яскравості. При синхронізації змін інформації з переміщенням променя дефлектором інформація перетворюється у відповідне зображення, що сприймається зором людини.

До основних характеристик модулятора (дефлектора) відносять ширину смуги частот, характеристики світлопропускання і відтворення півтонів, контрастні характеристики, потужність розсіяння, лінійність та вимоги до модулюючого сигналу. Смуга частот модулятора визначається необхідною якістю зображення і способом відтворення інформації. При послідовній видачі кількості рядків розгортки дорівнює [6]:

$$n = \frac{2 \cdot 0,75 df (1 - C_0)}{f_k R_c}; \quad (1)$$

де df – ширина смуги частот (гранична частота модулятора); C_0 – відношення часу зворотного ходу до повного часу розгортки; f_k – частота зміни кадрів, с; R_c – роздільна здатність по рядках, лінія / кадр; 0,75 – коефіцієнт формату кадру, що дорівнює 4:3.

Коефіцієнт 2 у (1) враховує, що перехід від чорного елемента розгортки до сусіднього білого проходить за один період модулюючого сигналу.

Лазерний випромінювач повинен мати досить високе значення вихідної потужності (сотні мВт і більше) для відхилення модульованого променя із стабільно високою яскравістю плями, яка проектується на відповідний екран. В активному екрані з метою отримання більш високої яскравості застосовується ефект люмінесценції від лазерних джерел (аналогічний ефект використовують у роботі електролюмінесцентних підсилювачів світла [5]). Діапазон відхилення світлових променів є функцією кількості дозволених елементів і ширини лазерного пучка (завичай становить від декількох кутових секунд до однієї кутової хвилини). Збільшення ширини пучка призводить до зменшення необхідної відстані між проекційним об'єктивом та екраном (розміри екрану і роздільна здатність при цьому не змінюються), але вимагає збільшення кута відхилення. Існуючі лазерні системи відображення інформації дають можливість побудувати систему з роздільною здатністю 1000 ліній і кутом відхилення менше 16° . При різних дослідженнях методів відхилення лазерного променя отримано від 256 до 1000 дозволених елементів у горизонтальному і у вертикальних напрямках [5-6].

До основних методів відхилення лазерних пучків відносяться:

- акустооптичні, у яких за допомогою ультразвуку зміниться градієнт показника заломлення, що забезпечує відхилення на кут в межах 5° ;
- електрооптичні, у яких сканування з використанням електрооптичної призми (з титанату барію або іншого електрооптичного матеріалу), що забезпечує відхилення на кут в межах 1° ;
- дисперсійні, у яких використання аномальної дисперсії забезпечує відхилення на кут в межах 10° ;
- оптикомеханічні, які передбачають відхилення лазерного променя за осями x та y за допомогою дзеркал, призм та інших рухомих або коливних оптичних елементів у межах кутового розходження від 3° до 50° (гальванометричні та інші).

Загальновідомі й інші перспективні технології відхилення лазерних променів – магнітооптична, термооптична і голографічна тощо, які сьогодні не отримали широкого впровадження у лазерних системах виводу та відображення інформації в першу чергу внаслідок складної реалізації. Основні проблеми просторової модуліції в існуючих лазерних системах відображення інформації пов'язані з обмеженими кутами відхилення і малим розміром плями. Якщо потрібний кут відхилення є малим, то прийнятній ширині екрану відповідатиме лише велика відстань між екраном і проектором. Так, при куті відхилення 1° ця відстань має дорівнювати 120 м при ширині екрану 210 см. В тому ж випадку, при куті відхилення 20° необхідна відстань між екраном і проектором зменшується до 6 м, але виникають обмеження, пов'язані з розміром плями і відхиленням. Ширина колімованого променя є відносно сталою на робочих відстанях проекційних систем для більшості лазерів. Тому зі збільшенням кута відхилення збільшується кількість дозволених елементів. Це, в свою чергу, вимагає підвищення швидкості сканування (розгортки), щоб запобігати погіршенню якості зображення. Наприклад, якщо розмір плями в системі дозволяє отримати 4000 ліній, а використовується тільки 500 рядків розгортки, то зображення вийде розділеним на площині. Ширина променя типового лазера дорівнює 10 кутовим секундам, що забезпечує роздільну здатність 7200 елементів при куті відхилення 20° .

Яскравість екрану B в нітах, може бути обчислена за допомогою виразу [5]:

$$B = \frac{PKG}{A}, \quad (2)$$

де P - вихідна потужність лазера, [Вт]; K - ефективність перетворення енергії джерела, [лм/Вт]; G - підсилення екрану; A - площа екрану, [м²].

Пікова яскравість (кд/м) ділянки зображення описується формулою:

$$B = \frac{GF_n K_z}{S}, \quad (3)$$

де B - світловий ККД оптичної системи; G - коефіцієнт яскравості екрану; F_n - пікове значення світлового потоку, лм; K_z - коефіцієнт заповнення, рівний відношенню часу перебування променя лазера на елементі зображення до часу відображення зображення.

Пікове значення світлового потоку на поверхні екрану описується формулою:

$$F_n = WKC; \quad (4)$$

де W - вихідна потужність лазера, [Вт]; K - значення функції відносної видимості для випромінювання джерела світла; C - коефіцієнт перерахунку, [лм/Вт].

В системі відображення повинен використовуватися лазер в безперервному режимі випромінювання (CW-режим). Такі лазери в даний час мають вихідну потужність порядку десятків Вт. У випадку екрану із розміром 4,6 м, ефективність перетворення енергії може досягати значень $K = 500$ лм/Вт при $G = 3$, а очікувана яскравість згідно (2) становить 102,9 нт.

У роботі [8] описані й інші методи побудови лазерних систем відображення інформації В одній з них лазерний промінь використовується для скрайбування металевого покриття скляного діапозитиву. При цьому лазерні джерела застосовуються в якості світлового пера з електромеханічним приводом. При розробці відповідних схем точного відхилення променя, цей спосіб дозволяє отримати значно більшу швидкість розгортки, ніж у сучасних RGB-проекторах. В таких системах для проектування використовується зовнішнє джерело світла, що знижує необхідні потужність лазера та збільшує його термін експлуатації [8].

Характеристики світлопропускання просторового модулятора світла значною мірою визначають його надійність, оскільки розсіювання навіть декількох відсотків потужності лазера може привести до перегріву відповідних кристалічних елементів.

Контраст відтворюваного зображення характеризується відношенням максимальної потужності, що проходить через модулятор, який знаходиться в збудженому стані, до мінімально досяжного значення потужності, яка тим менше, чим менше розбіжність променя $K = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}$.

Використовуючи промені з мінімальним кутовим розходженням, можна за рахунок погіршення світлопропускання підвищити контраст. Для отримання п'яти градацій півтонів потрібно контрастність більше 20 і лінійна модуляційна характеристика. Цим можна знехтувати, якщо пристрій повинен

відображати знаки, а не напівтонові зображення.

До перспективних методів лазерного виведення інформації відноситься метод запису лазерного променя на активному екрані. Такий екран може бути виконаний з фотохромного, електролюмінісцентного або іншого матеріалу, який випромінює або модулює світло. При використанні фотохромного екрану необхідним є використання ультрафіолетового лазера.

Для індикаторних пристроїв представляють інтерес наступні властивості випромінювання лазерів: просторова когерентність, часова когерентність, колір і яскравість.

Оскільки лазер являє собою когерентне джерело світла, то за рахунок підбору джерел світла з відповідними кольорами RGB (R-червоний, G-зелений, B-голубий), шляхом введенням їх в оптичну схему аддитивного змішування кольорів можна відтворити широку гаму кольорів. Для отримання основних кольорів можуть бути використані гелій-неонові, аргонні лазери, але найбільш поширеним є використання напівпровідникових та твердотілих лазерів, що дає змогу покращити окремі параметри приладу, його енергоспоживання і габаритні розміри [7].

МЕТОДИ КЕРУВАННЯ СВІТЛОВИМ ПРОМЕНЕМ В СИСТЕМАХ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

При розробці лазерних ПВІ (пристроїв відображення інформації) використовуються наступні методи відхилення лазерного променя [8-9]:

- візуальна лазерна індикація (на екран направляється власне випромінювання лазера);
- індикація з активним екраном, коли промінь лазера застосовується лише для керування випромінюванням відповідного активного матеріалу екрану;
- лазерно-променеви світловий клапан, коли промінь лазера здійснює локальну зміну оптичних параметрів деякого матеріалу (коефіцієнта відбиття або пропускання), а окреме джерело звичайного типу генерує світло для проекції на екран;
- лазерний генератор зображення із безпосереднім впливом на оптичний резонатор (дозволяє отримати двовимірне зображення безпосередньо від лазерного джерела).
- цифрове оброблення світлових сигналів (DLP-технологія, Digital Light Processing – цифрова обробка світла) – спосіб керування світловим потоком в просторі, який використовується у проекторах та лазерних телевізорах.

Існуючі методи керування світлом у системах виводу і відображення інформації можна поділити на два типи:

- 1) послідовної видачі інформації (растровий), коли промінь лазера послідовно обходить усі точки поверхні екрану;
- 2) вибіркового відображення (векторний), коли промінь лазера направляється тільки на ті елементи екрану, в які вводиться інформація.

При вибіркового відображенні смуга частот модулятора визначається швидкістю системи відхилення. В цьому випадку модулятор в основному використовують тільки для гасіння променя в моменти його перемикання (при переході від знаку до знаку), і тому необхідна ширина смуги частот виявляється меншою, ніж у першому випадку.

Для зміни інтенсивності променя лазера використовуються різні підходи. Необхідність відтворення широкої смуги частот з метою отримання високої роздільної здатності вимагає швидкодіючих пристроїв, в якості яких використовують електрооптичні модулятори з лінійним чи квадратичним ефектом [5-7].

Дефлектори, що здійснюють управління променем, працюють за різними методами відхилення променя: механічному, рефракційному, дифракційному, когерентної оптичної фазової решітки, подвійного електрооптичного керування положенням променя, рідкокристалічному і ін..

Механічний метод відхилення променя реалізується за допомогою застосування двох обертаючих багатограних призм або дзеркал із високим коефіцієнтом відбиття, які переміщуються по горизонталі і вертикалі п'єзоелектричним чи гальванометричним приводами. Забезпечується відносно великі робочі кути відхилення (до 30–40°) і досить високий оптичний коефіцієнт корисної дії. Швидкодія таких пристроїв є малою, практичне використання обмежено режимом послідовної видачі. Також методу властиві нестабільність, жорсткі допуски на елементи, труднощі синхронізації, невисока надійність та інші недоліки.

Рефракційний метод реалізує відому оптичну властивість – відхилення світлового променя за рахунок заломлення (рефракції) на межі поділу двох прозорих середовищ. В цьому випадку застосовують електрооптичну призму або ультразвукову рефракційну клітинку.

Дифракційний метод може бути використаний, якщо діаметр світлового пучка є значно більшим

за довжину ультразвукової хвилі, коли виникає дифракція світла (при растровій розгортці). Він забезпечує малі робочі кути (до декількох градусів) і низьку ефективність відхилення.

Метод когерентної оптичної фазової решітки заснований на властивості випромінювання лазера, що характеризується високим ступенем часової і просторової когерентності. Ця властивість використовується для відхилення лазерного променя за рахунок розділення його на безліч паралельних променів і зміни відносних фаз між сусідніми променями в ближній зоні поля. Цей метод вимагає високої стабільності як джерела світла, так і дефлектора і має ряд інших обмежень.

Метод подвійного електрооптичного керування світловим променем заснований на використанні властивості подвійного променезаломлення деяких речовин. В таких речовинах звичайний неполяризований промінь світла розщеплюється на два – звичайний та незвичайний. Ці промені є лінійно поляризованими, площині їх поляризації є взаємно ортогональними. Якщо світло, що падає нормально на речовину з подвійним променезаломленням, є повністю лінійно поляризованим, а його площина поляризації збігається з площиною поляризації звичайного променя, світло проходить без відхилення. Якщо ж вхідне світло є лінійно поляризованим у площині незвичайного променя, вихідний промінь виявляється зміщеним відносно точки виходу звичайного променя. Величина такого зміщення пропорційна товщині кристала з подвійним променезаломленням (кальцит та ін.). Такий кристал може виконувати функцію перемикачів лінійно поляризованого світла, що перетворює звичайний *o*-промінь у незвичайний *h*-промінь шляхом введення фазової затримки на 180° при дії на кристал напруги напівхвильової затримки [9].

Коли на кристал падає лінійно поляризоване світло, площину поляризації якого збігається з площиною поляризації *o*-променя (прикладена до електрооптичного кристалу напруга дорівнює нулю), – перемикач відкритий. В цьому випадку світло через кристал кальциту проходить без відхилення, а точка виходу світла відповідає точці виходу *o*-променя. Якщо до електрооптичного кристалу прикладена напруга *U*, то перемикач закритий, падаючий *o*-промінь перетворюється на *h*-промінь, світло поширюється за шляхом, що відповідає шляху *h*-променя. Комбінація двох типів кристалів являє собою подвійний електрооптичний пристрій керування положенням світлового променя.

Якщо світло пропускати через *n* перемикачів, то можна отримати два керованих положення променя. Щоб отримати двовимірну систему відхилення, необхідно використовувати другу систему перемикачів, яка повинна забезпечувати зміщення променя в напрямку, перпендикулярному першому.

Цей метод управління лазерним променем є одним з найбільш перспективних. Для забезпечення максимальної чіткості зображення в ПВІ з великими екранами застосовують лазери безперервної дії потужністю у декілька Вт, у якості кристалів з подвійним променезаломленням – кристалічний кварц і ісландський шпат.

Метод цифрового оброблення світлового потоку, або DLP-технологія (Digital Light Processing) – запропонована Ларі Хорнбеком з компанії Texas Instruments у 1987 році технологія, яка останнім часом все більш активно використовується у проекторах та лазерних телевізорах (рис. 2).

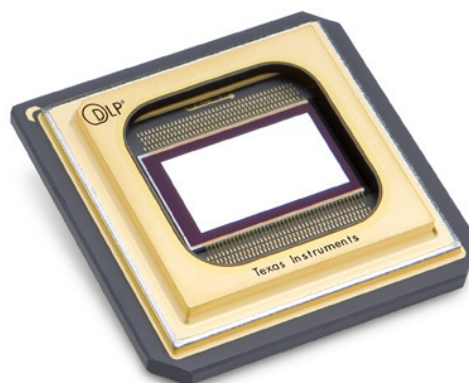


Рис. 2. DLP-чип в складі системи RGB-проектора [7]

Зображення за DLP технологією створюється мікроскопічними малими дзеркалами, які розташовані в вигляді матриці на напівпровідниковому чипі DMD (Digital Micromirror Device – цифровий мікродзеркальний пристрій). Кожне таке дзеркало формує один піксель в проєктованому зображенні (рис. 3), загальна кількість яких визначає роздільну здатність відповідного зображення. Найбільш поширеними DMD є матриці з роздільною здатністю 800x600, 1024x768, 1280x720 та 1920x1080 пікселів.

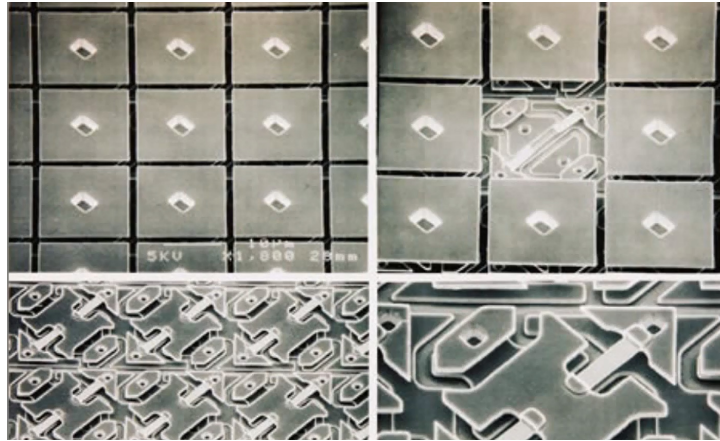


Рис. 3. Мікродзеркала та їхня структура на DLP-чіпі [10]

Мікродзеркала можуть швидко та позиційно змінювати кут відбиття, для того щоб відбивати світло на лінзу або радіатор (названий також light dump, поглинач світла). По суті швидкий поворот дзеркал являє собою перемикання між станами «ввімкнено» та «вимкнено», що дозволяє DMD варіювати інтенсивність світла, яке проходить через лінзу, створює градацію сірого в доповненні до білого (стан «ввімкнено») та чорного (стан «вимкнено») кольору в отримуваному зображенні.

Існує два основних методи створення кольорового зображення за допомогою DMD чіпа.

Перший метод використовує лампу, обертовий диск (з сегментами червоного, синього та зеленого кольорів, також може бути включено прозору частину для підсилення яскравості зображення) та один DMD чіп. Обертовий диск розміщується між лампою та DMD чіпом. Для створення повноцінного кольорового зображення обертовий диск синхронізують з DMD чіпом таким чином, щоб червона частина зображення відображалась на DMD, коли червоний сектор диску знаходився на шляху світіння лампи. Аналогічно для зеленого та синього кольору.

Червона, зелена та синя частини зображення відображаються по чергово, але з дуже високою частотою. Таким чином спостерігачу здається, що на екран проектується різнокольорова картинка.

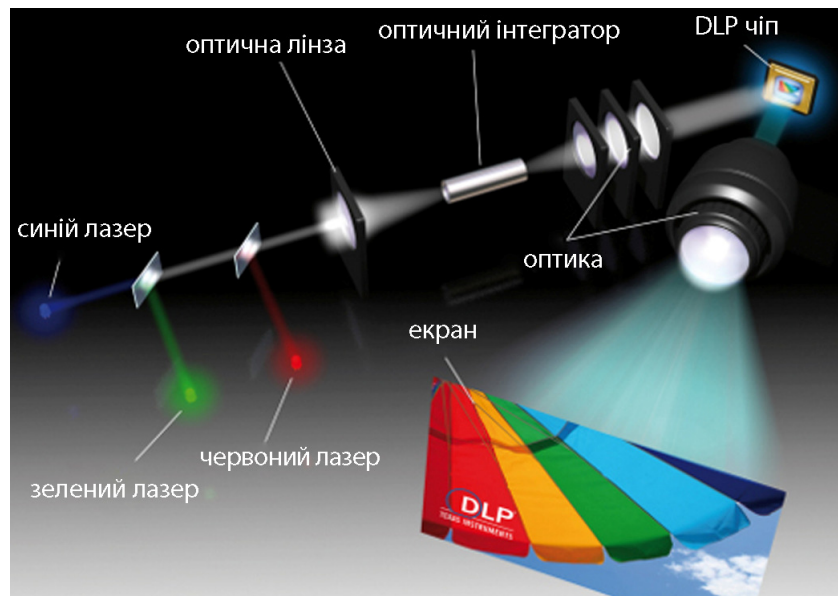


Рис.4. Мікродзеркала та їхня структура на DLP-чіпі

Можливим є використання замість обертового кольорового диску блоку з надяскравих світлодіодів (або лазерних діодів) основних кольорів. Завдяки тому, що світлодіод (лазерний діод) може швидко вмикатись і вимикатись, стало можливим збільшити частоту оновлення кольорів зображення і повністю позбутися шуму від механічних рухомих частин.

Другий метод використовує призму для розщеплення променя, випромінюваного лампою, і кожен з основних кольорів направляється на свій DMD чіп, з яких потім промені одночасно проектується на екран, що в свою чергу дає найбільшу кількість градацій тіней та кольорів, ніж одночиповий метод, тому що кожному кольору доступний більш тривалий проміжок часу і можливою стає модуляція із кожним

відеокадром. До того ж, отримане зображення взагалі не схильне до мерехтіння.

Ще одним перспективним варіантом систем керування світловими променями є рідкокристалічні дефлектори, робота яких заснована на ефекті порушення повного внутрішнього відбиття, ефекті керованої електричним полем оптичної різниці ходу, або на виникненні в шарі РК - дифракційних структур внаслідок електрогідродинамічного чи орієнтаційного ефектів.

До початку 2000-х років реалізовані лише конструкції рідкокристалічних дефлекторів з дискретним відхиленням пучків (перемикачів), в яких використовується ефект порушення повного внутрішнього відбиття. Такий дефлектор складається з двох призм, виготовлених з оптично ізотропного матеріалу, в проміжку між якими знаходиться шар РК. Орієнтація цього шару залежить від напруги, прикладеної до прозорих електродів.

Показник заломлення призм і кут падіння світлових променів вибираються такими, щоб для шару РК в збудженому стані виконувалися умови повного внутрішнього відбиття. При переорієнтації шару РК електричним полем показник заломлення цього шару збільшується, умови повного внутрішнього відображення порушуються і світлові хвилі заломлюються в іншому напрямку. Рідкокристалічний дефлектор перемикається тільки при певній поляризації світлових хвиль – у паралельній площині, в якій відбувається переорієнтація РК. Час перемикання складає десятки і сотні мс. Дефлектор з дискретним відхиленням застосовується як комутатор волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Багатокольорове зображення може бути отримано при використанні декількох лазерів, що працюють паралельно і мають різні спектри випромінювання, причому кожний з лазерів має свою систему відхилення, налаштовану на відповідну спектральну лінію випромінювання.

Система аналогічного призначення може бути розрахована на роботу кількох лазерів на загальній пристрій дискретного відхилення, в якому за допомогою спеціальних заходів усунені хроматичні аберації. Більш досконалою є система, в якій випромінюється кілька кольорів від одного лазерного генератора з перемикаючими лініями випромінювання, що працює на загальній хроматичній пристрій дискретний відхилення.

У таблиці 1 представлено порівняльну характеристику різних типів дефлекторів лазерного випромінювання для систем відображення інформації.

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика різних типів дефлекторів

Тип дефлектора	Переваги	Недоліки
Механічні	Низька ціна Широкий кут розгортки Великий коефіцієнт пропускання Низька напруга живлення	Низька точність Низька швидкість роботи Наявність рухомих частин
Акустооптичні	Висока швидкість роботи Висока точність Низька напруга живлення	Висока ціна Низькі кути відхилення Низька ефективність
Електрооптичні	Висока швидкість роботи Висока точність Низька ціна	Малі кути відхилення Низька ефективність Велика напруга живлення
Рідкокристалічні	Низька ціна Доступність Високий коефіцієнт пропускання	Інерційність Низька швидкодія Малі кути відхилення
DLP-дефлектори	Високий коефіцієнт пропускання Висока швидкодія Великі кути відхилення	Висока ціна Низька ефективність

Таким чином, основними перевагами ПВІ на лазерних джерелах є:

- висока яскравість;
- висока роздільна здатність;
- висока контрастність зображення;
- здатність відображення інформації в реальному масштабі часу;
- можливість відображення інформації на екранах великих розмірів;

До недоліків більшості лазерних ПВІ слід віднести складність конструкції, низьку ефективність пристроїв на газових лазерах, невисоку надійність та наявність сцинтиляцій (іскріння) зображення.

Однак істотні переваги ПВІ на лазерах, зокрема DLP-систем, а також розвиток і вдосконалення лазерних та оптоелектронних технологій дозволяють вважати їх надзвичайно перспективними, тому в останні роки проводиться велика кількість досліджень, спрямованих на розробку, дослідження і впровадження ПВІ на лазерах (Texas Instruments, Mitsubishi, Nec, Panasonic, Dell, Acer та інші).

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано основні технології і методи керування лазерним випромінюванням для система відтворення візуальної інформації, які на сьогоднішній день є одними із найбільш перспективних для відображення зображення та іншої графічної інформації на великих екранах та фасадах будівель. В результаті аналізу визначені основні переваги і недоліки цих технологій, що дає змогу визначити область використання того чи іншого типу дефлектора з метою вибору найбільш оптимального варіанту реалізації для кожного конкретного випадку залежно від потрібної якості зображення, розмірів площі відображення та інших техніко-економічних характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев А.А. Пространственные модуляторы света / А.А. Васильев, Д.И.Кассасент и др. – М. Радио и связь, 1987. – 320с.
2. Светотехническое оборудование /А. А. Бокуняев, Н .М. Борисов, Р. Г. Варламов и др.: [Под ред. Н. И. Чистякова]. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
3. Волков В.А. Империя света / В.А. Волков, – М.: Вища школа, 1995. –224с.
4. Хакен Г.П. Лазерная светодинамика / Г.П. Хакен, –М.: Мир,1988. – 146с.
5. Э. Кадино. Цветомузыкальные установки/ Э. Кадино: [Пер. с франц. В.Носов].– М.: ДМК Пресс, 2000, – 256 с.
6. Brosens P.J. Scanning speed and accuracy of moving magnet optical scanners // Opt. Eng. 1995. V. 34. № 1. P. 200–206.
7. Ларченко Ю.В., Леонов А.М., Жук С.М. Современные сканирующие системы на основе электромеханических дефлекторов света // Лазер-Информ. 2003. № 9–10. С. 8–12.
8. Гриб Б.Н., Кондиленко И.И., Коротков П.А. Электрооптические дефлекторы света. – Киев: Техника, 1980. – 206 с.
9. Самарин Ю.Н. Принципы построения лазерных выводных устройств // КомпьюАрт. 2004. № 6
10. Самохин В. SVGA мультимедийные проекторы LCD и DLP [Электронный ресурс] / В. Самохин. // Журнал "625". — 1998. — № 7. — Режим доступа: <http://rus.625-net.ru/625/1998/07/6.htm>

Надійшла до редакції 18.06.2012р.

ТУЖАНСЬКИЙ С.Є. – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

МАЛІНОВСЬКИЙ В.І. – к.т.н., науковий співробітник, асистент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ПАЛАНЮК І.А. – студент 4-го курсу кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

САХНО А.М. – студент 3-го курсу кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.