

1. Prudyus I., Voloshynovskiy S., Holotyak T. Simulation of sparse antenna array in radiometry imaging systems // *Proceeding of 4th Science-Technical Conference " Microelectronic CAD"*. Lviv, February 18-23, 1997. Vol.2. P.153–154 2. I.Prudyus, S.Voloshynovskiy, T.Holotyak. Sparse antenna array in radar imaging systems // *Proceeding of 3rd International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, TELSIKS'97, Nis, Yugoslavia, October 8-10, 1997. Vol.1. P.46–49.* 3. Prudyus I., Voloshynovskiy S., Holotyak T. Investigation of spatial antenna system characteristics in active and passive imaging system // *Proceeding of International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineer Training, TCSET'98, Lviv, February 23-28, 1998. P.124–125* 4. Prudyus I., Voloshynovskiy S., Holotyak T. Adaptive aperture formation matched with radiometry image spatial spectrum, *12th International Conference on Microwaves & Radar, MIKON'98, Krakow, Poland, May 20-22, 1998. Vol.1. P.143–147.*

УДК 621.382

Вуйцік В., Готра З.\*, Котира А., Смоляж А.

\*Люблінська політехніка

НУ “Львівська політехніка”

## ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕМИКАЧ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

© Вуйцік В., Готра З., Котира А., Смоляж А., 2000

**Викладена концепція оптоелектронного перемикача з використанням кристалів з подвійним променезаломленням, рідкокристалічних структур лінії затримки, а також лінзового модуля, з'єднуючого багатомодові світловоди. Наведено дослідження складових елементів, які дозволили визначити передавальні параметри перемикача.**

Оптичні комп'ютери, локальні світловодні комп'ютерні мережі LAN (Local Area Network), а також розширені мережі оптичних сенсорів вимагають швидкого і повторюваного підключення між оптичними логічними схемами, що складаються з логічних матриць, які містять окремі комірки. Принцип дії і взаємодія таких елементів наведені на рис.1.

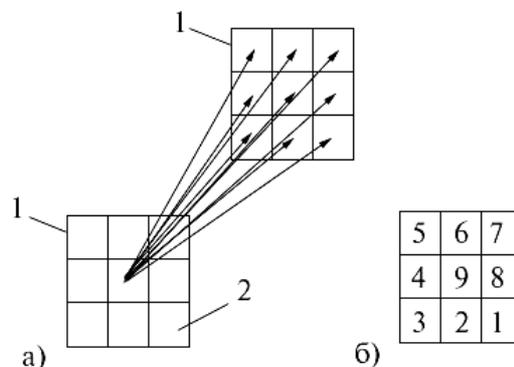


Рис.1 Схема підключення послідовних логічних оптичних комірок між сусідніми логічними схемами (а) та приклад нумерації логічних комірок (напрямок):  
1 – оптична логічна схема; 2 – оптична логічна комірка

Оптично закодована інформація, трансформована через логічну оптичну комірку, повинна передаватися за допомогою світлового пучка до наступної комірки, що знаходиться в описаній оптичній логічній схемі [2]. Логічні схеми поєднуються за допомогою окремих частин світловодів, що складають вихідну матрицю мультиплексора [6]. Перелічимо вимоги, що ставляться до такого перемикача:

- передавальні втрати перемикача повинні утримуватися на найнижчому рівні;
- елементи перемикача не повинні суттєво змінювати своїх параметрів у повній апертурі (постійну загасання і запізнення) для отримання узгоджених характеристик для кожного світловоду і для уникнення діафонії;
- швидкість перемикачання повинна бути відповідною до застосування перемикача.

Ідея конструкції оптичного перемикача розміром  $1 \times 9$  [4] наведена на рис.2.

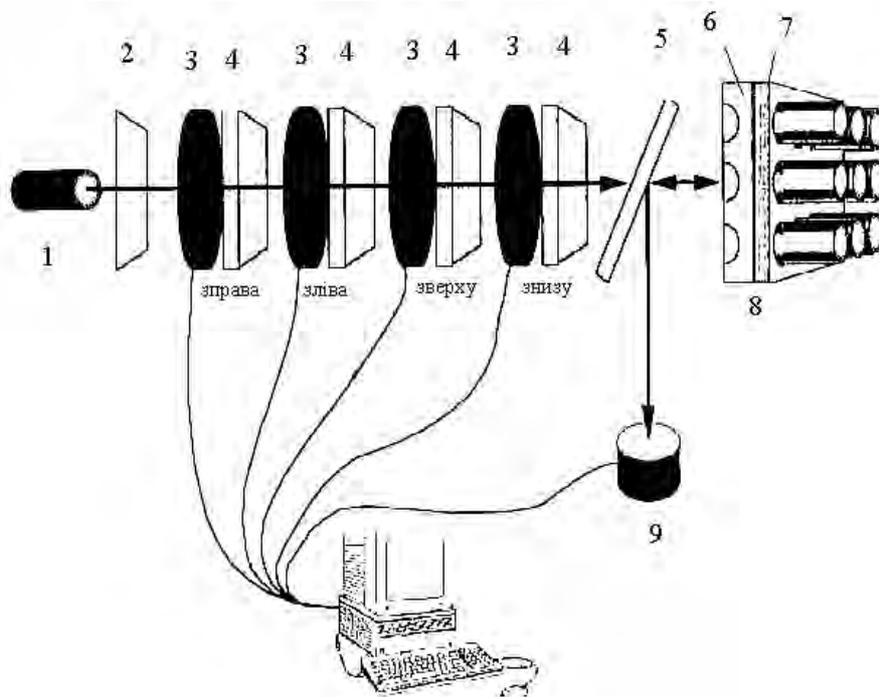


Рис.2. Оптичний перемикач розміром  $1 \times 9$ :

1 – лазер; 2 – поляризатор; 3 – рідкий кристал; 4 – кристал з подвійним променезаломленням; 5 – напівпрозоре дзеркало; 6 – матриця мікроліз; 7 – світловодна матриця; 8 – світловоди до давачів; 9 – детектор

Конструкція складається з двох базових функціональних елементів, наприклад, оптоелектронного перемикача та оптопари.

### 1. Оптоелектронний перемикач

Оптоелектронний перемикач складається з чотирьох ідентичних пар елементів: кристал з подвійним променезаломленням – рідкокристалічний регульований затримувач (РКРС), розташовані поряд для заломлення променя світла вліво, вправо, вгору та вниз відповідно. Принцип роботи такої пари можна описати так. Швидка і повільна осі рідкокристалічного сповільнювача формують кут в  $45^\circ$  між ТЕ і ТМ модами падаючого лазерного променя. Тобто вони залишають початкову поляризацію падаючого світла або повертають її перпендикулярно, відповідно до прикладеної напруги. Це дозволяє перемикати промінь у вісім найближчих напрямків.

Промінь, поляризований в ТЕ моді, поширюється вздовж звичайної осі кристала, тоді як промінь в ТМ моді поширюється вздовж незвичайної осі (рис.3).

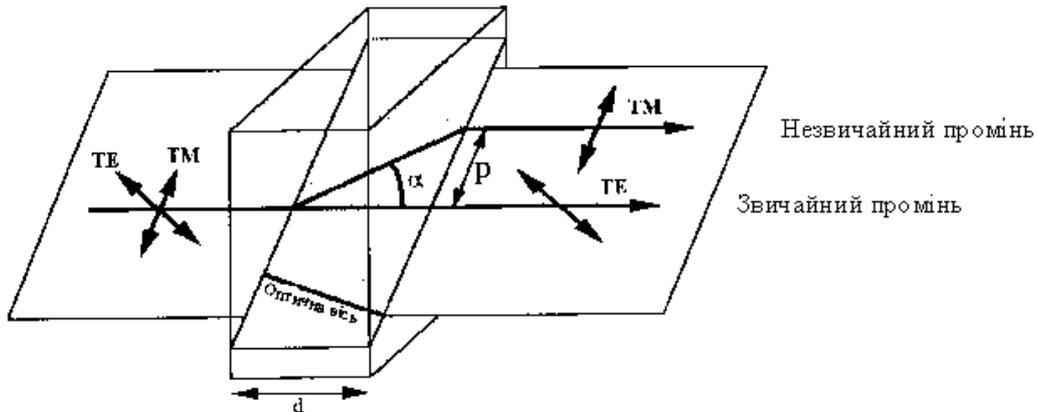


Рис.3. Заломлення ТМ моди всередині кристала з подвійним променезаломленням

Вибором товщини кристала  $d$  можна досягти положення, коли заломлення променя відповідає кроку перемикача  $p$ .

Затримка РКРС визначається двома значеннями: для затримки на кут  $\pi$  поляризація змінюється на перпендикулярну, тоді як нульова затримка залишає поляризацію незмінною. Кожна з двох затримок відповідає певному значенню прикладеної напруги.

Сповільнення визначається як:

$$\Gamma = 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{I_{\text{TE}}^{\text{OUT}}}{I_{\text{TM}}^{\text{OUT}}}}, \quad (1)$$

де  $I_{\text{TE}}^{\text{OUT}}$  і  $I_{\text{TM}}^{\text{OUT}}$  – вихідна опромінюваність в ТЕ і ТМ модах відповідно. Були проведені вимірювання для трьох різних довжин хвиль, результати наведені на рис.4. Напруги, які відповідають значенням затримки на кут  $\pi$  (наприклад,  $\lambda/2$ ) і на нульовий кут, показано як функцію довжини хвилі.

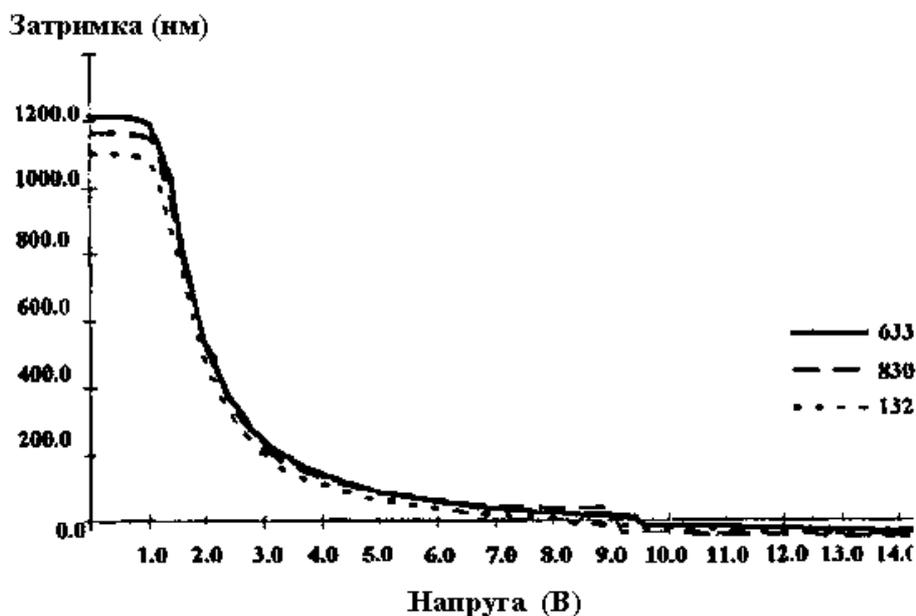


Рис.4. Залежність затримки від напруги хвиль для різної довжини

З рис.4. видно, що не спостерігається значної різниці для різних довжин хвиль. Тобто, немає значного впливу довжини хвилі на затримку, так як на двопронезаломлення кристала. Залежність дисперсії (розсіювання) двопронезаломлення ( $\Delta n$ ) в затримувачі за відсутності прикладеної напруги може бути оцінена, використовуючи модель Майєра-Мейєра [5]

$$\Delta n = \frac{\lambda^2 \cdot A}{\lambda^2 - B}, \quad (2)$$

де  $\Delta n = \frac{\Gamma}{d}$ ,  $A, B$  – деякі константи,  $d$  – товщина затримувача і  $\lambda$  – довжина хвилі.

Подібно до рідкокристалічного затримувача, двопронезаломлення кристала показує залежність від довжини хвилі. Кут заломлення променя може бути розрахований за формулою:

$$a = \arccos \frac{n_E^2 \cos^2 \Theta + n_O^2 \sin^2 \Theta}{\sqrt{n_E^4 \cos^2 \Theta + n_O^4 \sin^2 \Theta}}, \quad (3)$$

де  $\Theta$  - кут падіння відносно оптичної осі кристала,  $n_E$  - незвичайний показник заломлення,  $n_O$  - звичайний показник заломлення.

Кут заломлення променя залежить від довжини хвилі, оскільки обидва показники заломлення,  $n_E$  і  $n_O$  залежать від  $\lambda$ . В свою чергу, відстань між вихідними променями ( $r = d \cdot \tan a$ ), а також залежить від довжини хвилі. Величина  $r$  залежить не тільки від товщини кристала і довжини хвилі, а також від кута обертання, який може бути використаний для точного підстроювання під крок світловодної матриці.

Як уже згадувалося раніше, правильна робота перемикача вимагає однакової поведінки як електронних рідкокристалічних запізнювачів, так і кристалів з подвійним променезаломленням у їх апертурі. Це викликано не тільки необхідністю забезпечення однакової якості вихідних світлових пучків (наприклад, поляризація), але також з метою уникнення діафонії.

Для виключення діафонії слід забезпечити той самий стан поляризації для всіх вихідних пучків світла (мод ТМ чи мод ТЕ). Це означає, що рідкофазні елементи затримки повинні характеризуватися постійною затримкою для цілої апертури, яка дорівнює 0 чи  $\pi$ . Це вимагає дуже точної поляризації у випадку падаючого світла.

Досліджуваний рідко кристалічний елемент затримки має цілком задовільну постійну затримку. Однак, слід уникати роботи на гранях апертури. Не менш важливим фактором у такому запізнювачі є також його загасання. Прикладена напруга орієнтує молекули рідкого кристала, впливаючи на поляризацію світла, що проходить через кристал. Існує велика ймовірність виникнення ефекту анізотропії резонатора Фабрі-Перо. Повний коефіцієнт передачі (трансмісія)  $T$  лінійного резонатора Фабрі-Перо подається залежністю [3]:

$$T = \frac{1}{1 + F \sin^2 \left( \frac{\delta}{2} \right)}, \quad (4)$$

де  $F = \frac{4R}{(1 - R^2)}$  – добротність резонатора;  $R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$  – коефіцієнт відбивання на границях резонатора, де  $n_1, n_2$  – коефіцієнти заломлення на внутрішній і зовнішній частинах резонатора;  $\delta = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta n D = 2\Gamma$  – різниця фаз між двома затримками.

Припускаючи, що коефіцієнт заломлення рідкого кристала становить  $n_1 = 1,6$ , а коефіцієнт осевого шару  $n_2 = 1,5$  і враховуючи залежність затримки  $\Gamma$  від прикладеної напруги, отримано результати, наведені на рис.5 і 6.

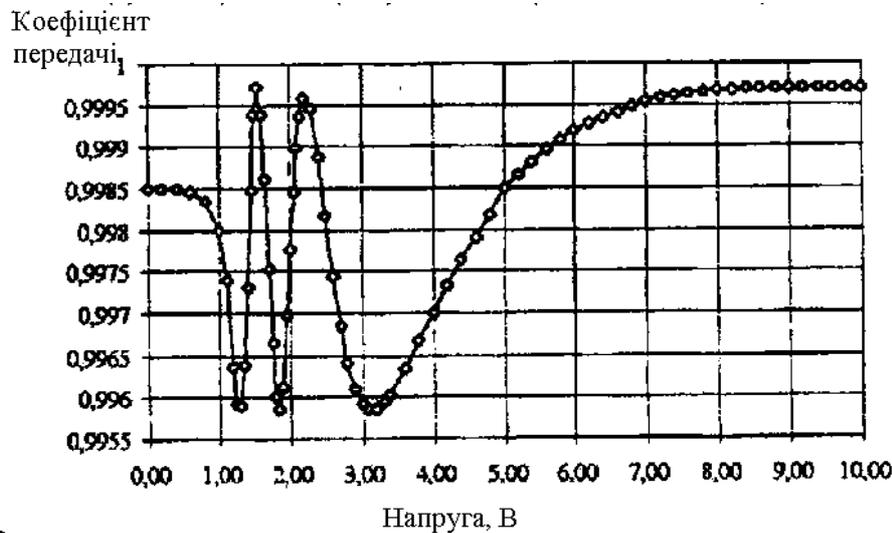


Рис.5. Обчислений коефіцієнт передачі залежно від прикладеної напруги

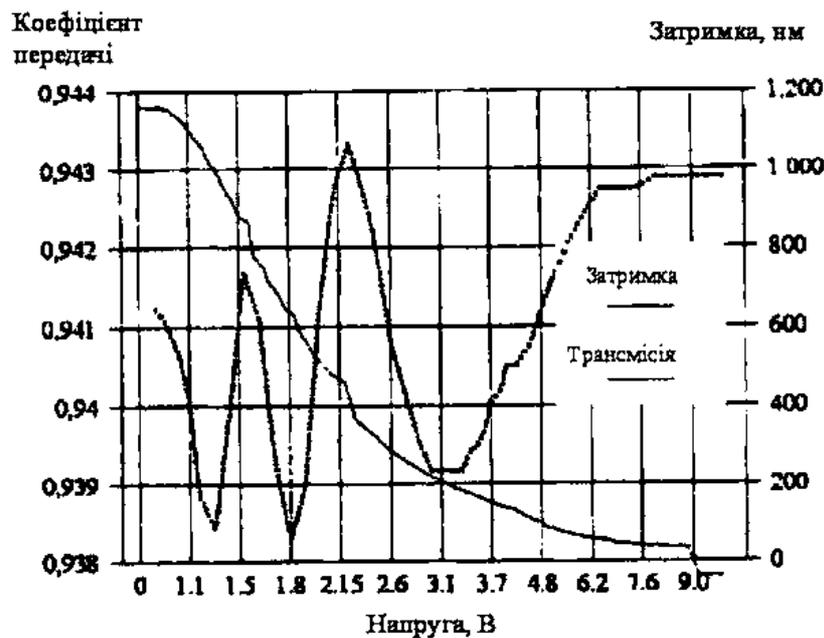


Рис.6. Коефіцієнт передачі, виміряний залежно від прикладеної напруги

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що теоретичні розрахунки збігаються з результатами, отриманими в лабораторних експериментах. Коефіцієнт передачі є найбільшим для затримок  $\pi$  (2,2 В) і 0 (9 В): це означає, що коли вхідне світло має лінійну поляризацію, зростання коефіцієнта передачі у цьому діапазоні становить 0,02 %. Отже, напруга у цьому діапазоні має невеликий вплив на коефіцієнт передачі. Повний коефіцієнт передачі не змінюється для всієї апертури рідкокристалічного елемента затримки, досягаючи при цьому значення  $\approx 94\%$ .

Кристали з подвійним променезаломленням, як і рідкокристалічним елементом затримки, повинні характеризуватися постійним коефіцієнтом передачі. Оскільки коефіцієнт

заломлення є різним для обох поляризацій ( TE і TM), коефіцієнт передачі є також різним. Для хвилі довжиною  $\lambda = 830$  мм,  $n_0 = 1,658$ ,  $n_e = 1,486$  обчислений коефіцієнт передачі дорівнює відповідно,  $T_0 = 88,12\%$  і  $T_e = 92,51\%$ . Вимірний коефіцієнт передачі подано на рис.7.

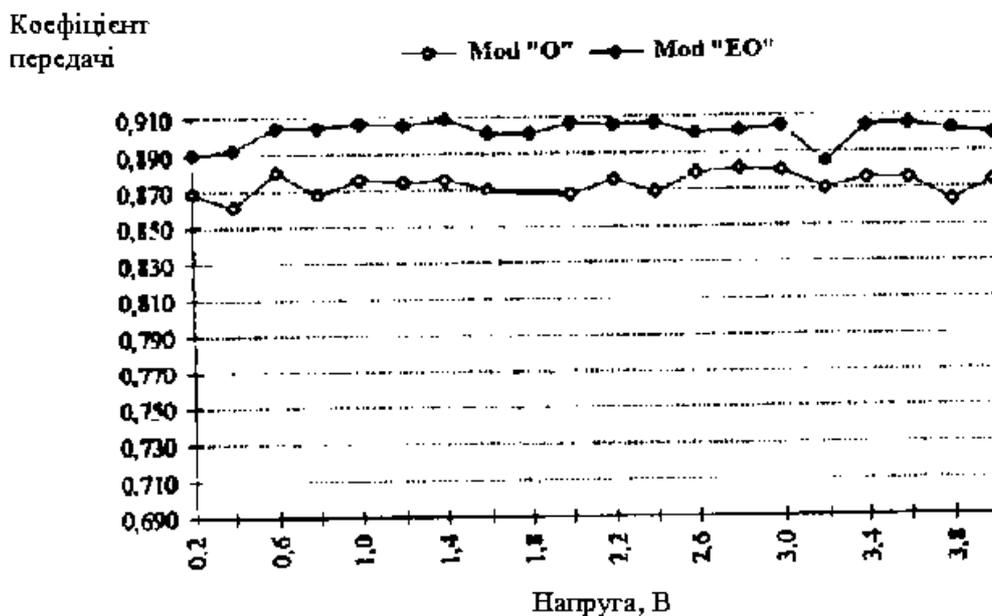


Рис.7 Вимірний коефіцієнт передачі у кристалі з подвійним променезаломленням (в одному напрямі).

## 2. Оптопара

Оптопара (рис.8) складається з двох компонентів: матриці мікролінз і матриці світловодів. Мікролінзи конвертують числову апертуру променя для ефективного світлового з'єднання перемикача і світловодів.

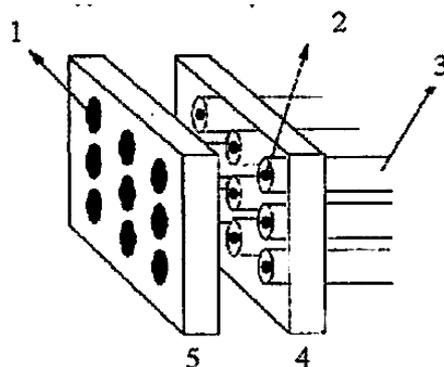


Рис.8. Оптопара: 1 – мікролінзи; 2 – осердя світловодів; 3 – світловоди; 4 – матриця світловодів; 5 – матриця мікролінз

Розрізняють дві основні категорії мікролінз: оптичні дифракційні компоненти і планарні рефракційні мікролінзові матриці. Визначальним параметром при застосуванні дифракційних лінз є довжина хвилі світла, яке падає, оскільки фокальна довжина залежить від цього. Ці пристрої також потребують вузькосмугових джерел світла, так як і лазери, наприклад. Вони дешевші ніж рефракційні лінзи, однак їх ефективність є нижчою.

Матриця світловодів через свій малий розмір створює багато технологічних труднощів: важко добитися точного розміщення світловодів з дотриманням кроку і перпендикулярного розміщення світловодів відносно площини матриці мікролінз.

### 3. Експериментальні результати та висновки

Для оптоелектронного перемикача використали такі компоненти: кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) як двопроменезаломлюючий кристал, для елементів затримки рідкокристалічний матеріал, виготовлений Meadowlark Optics (CA, USA) і матриця лінз, виготовлена Universitet Brussel і Nippon Sheet Glass, матриця багатомодових світловодів 50/125.

Ці компоненти забезпечили:

- втрати передачі - менше 4 дБ;
- швидкість перемикачання – 1,76 нс і 33 нс (залежно від параметрів елементів затримки) ;
- перехресні наводки – менше 20 дБ;
- ефективність з'єднання між перемикачем і світловодом  $\approx 60\%$ ;

Для покращання параметрів необхідно застосовувати рідкі кристали з малим часом релаксації та оптопари з більшою точністю.

1. Goossen K.W., Walker J.A. Monolithic optical fiber stub array, *Optics Letters*. № 17. 1992. P.381–382. 2. Peiffer et al. Polarization-controlled module for reconfigurable nearest-neighbour interconnects and image shifting, *International J. of Optoelectronics*, № 9. 1994. P.263–273. 3. Thienpont et al. Polarization induced switching and polarisation bistability in non-linear Fabry-Perot resonators ( *J. of the European Optical Society, Pure and Applied Optics*, № 2. 1993. P.515–538. 4. Wójcik W., Kotyra A., Kuryło P., Przyłucki S., Smolarz A., *Optoelektronik Multiplexer, Conf. Proc. 6th National Scientific Conference with International Participation "Radioelektronika"96*". Brno, 1996. Vol.2. P.212–215. 5. Wu S. Birefringence dispersions of liquid crystal, *Physical Review A*. № 33. 1986. P.1270–1274. 6. Yamaguchi M., Kobayashi. Two-dimensional optical switching for lane concentration, *Conf. Proc. ECOC'89, Gothenburg*. 1989. P.272–275.