



Xin so sánh v i b n g c ti ng Anh: All – Optical Space Switches with Gain and Principally Ideal Extinction Ratios c a Juerg Leuthold, Pierre A. Besse, Juerg Eckner, Emil Gamper, Marcus Dulk, and Hans Melchior

**Chuy n m ch không gian toàn quang v i khuy ch i ( l i) và t s t t quang lý t ng chính**

**Tóm t t** - Các c u hình giao thoa kê Mach-Zehnder b t i x ng (MZI) c xu t xây d ng các thi t b chuy n m ch không gian toàn quang v i khuy ch i và t s t t quang lý t ng chính. Th c s , ba tính b t i x ng trong c u hình MZI v i các b khu ch i quang bán d n hay b khuy ch i quang d n (các SOA) trên các c n c a chúng c th o lu n. Các tính b t i x ng trong chuy n m ch toàn quang là c n thi t kh c ph c các gi i h n t s t t do nh ng thay i khuy ch i nhi u lo n n y sinh khi các tín hi u i u khi n c a vào các SOA c m ng s thay i chi t su t c n thi t cho chuy n m ch. B t u t m t c u hình MZI t ng quát v i các SOA trên các c n, s mô t theo ma tr n truy n c s d ng và áp d ng nh n d ng các c u hình chuy n m ch toàn quang 1x2 và 2x2 v i s truy n tr ng thái m cao và g n t s t t lý t ng l n. Các d oán lý thuy t c xác minh và cho th y phù h p t t v i th c nghi m i v i chuy n m ch v i các b tách chùm MZI i x ng trong m t phiên b n ng d n sóng InP tích h p n kh i, cho phép ho t ng v i các SOA t ng ng ho c không t ng ng.

## I. GI I THI U

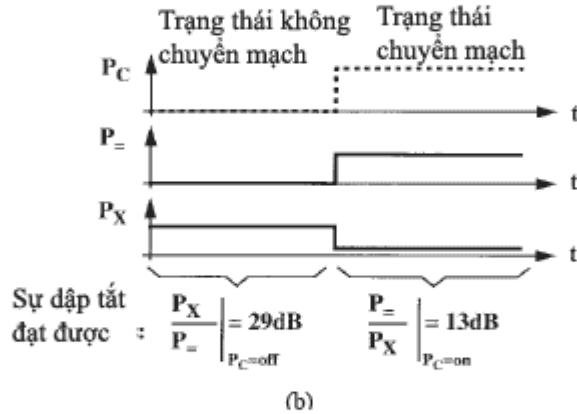
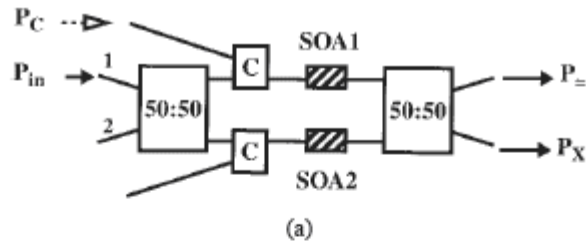
Các mạch truyền thông sợi quang dùng lõi đơn trong tầng lai dựa trên các hình thức ghép kênh như ghép quang học và ghép kênh quang phân chia theo bước sóng đòi hỏi các bộ ghép kênh xen-rét cao, các bộ phân kênh và các chuyển mạch vi tử và khuếch đại cao. Vì những hạn chế như trên nên việc tìm kiếm các thiết bị quang học cần quan tâm. Quá trình chuyển mạch cao, ghép kênh và giải ghép kênh cần đạt tính hiệu dụng và hiệu suất tín hiệu quang khi cần các bộ khuếch đại quang bán dẫn (các SOA) cần có hiệu suất quang học, cung cấp không chỉ sự phi tuyến cần thiết cho chuyển mạch mà còn cho khuếch đại. Các SOA đã được sử dụng trong vòng quang [1] và trong các cấu hình giao thoa kế Mach-Zehnder (MZI). Các MZI với tính chất phi tuyến quang học, cần thiết [2] và tích hợp (MZI-SOA) [3] đã có tác dụng pico giây. Một lợi ích của phiên bản MZI-SOA là nó cho phép tích hợp nhiều hơn nữa để làm cho các thiết bị chuyển mạch nhanh và gọn nhẹ [4], [5]. Trong các chuyển mạch toàn quang MZI-SOA này, các tín hiệu quang khi quang học cần đưa lên trên mặt của MZI làm nghèo các hạt tải điện trong SOA tăng cường. Điều này sinh ra sự bão hòa khuếch đại và sự thay đổi chỉ số khúc xạ cần thiết cho chuyển mạch. Khi tín hiệu quang cần chuyển, tín hiệu được chuyển mạch trạng thái chéo thành trạng thái ngang. Khi cần tăng cường dựa trên thời gian làm nghèo hạt tải điện nhanh, trong khi thời gian phục hồi hạt tải điện là một tham số giới hạn. Cách khắc phục như giải pháp này là hoạt động với hai xung quang khi [2], [6], hoặc bằng cách tích hợp không gian các SOA [3], [5]. Tuy nhiên, trong các cấu hình khác, các trạng thái chuyển mạch và trạng thái không chuyển mạch không bị ảnh hưởng. Trong trạng thái chuyển mạch, "t" không phải là tự do mà là không bị ảnh hưởng trong hai SOA. Thực tế thì, các chuyển mạch toàn quang

c n ph i c c i ti n và cân i t s t t. G n ây, hai phiên b n khác nhau c a các chuy n m ch toàn quang kh c ph c c nh ng gi i h n t s t t này ã c xu t hay ch ng minh. Nh ng c i ti n t c b ng cách t i u hóa c các dòng phân c c c a các SOA và các pha trong hai c n c a MZI [7] ho c có th s d ng hai b tách chùm không i x ng v i các t s tách ngh ch o [8], [9].

Bài báo này, sau khi trình bày b ghép kênh toàn quang MZI-SOA, các chuy n m ch gi i ghép kênh, và kh n ng c a chúng s c trình bày chi ti t h n, s phân tích s i u ch nh c i ti n t s t t. Ba c u hình MZI-SOA c mô t , th o lu n, và so sánh. Các c u hình v i các SOA phân c c không cân b ng (A), các b tách chùm không i x ng (B1) và B2 , và hai c p SOA c s p x p b t i x ng có các th a s alpha khác nhau (C) c trình bày. Phân tích này cho phép chúng tôi gi i thi u các chuy n m ch toàn quang 1x2 và 2x2 m i (lo i B1 và C). Chúng tôi th c hi n thí nghi m xác nh n các mô hình và cung c p tiêu chu n thi t k cho các c u hình khác nhau.

Tính không ng u c a các t s t t u ra cho m t chuy n m ch MZI-SOA i x ng c b n c trình bày trong m c II. Các hình th c mô t v t lý c a các chuy n m ch toàn quang c trình bày trong m c III. Nó s c s d ng trong Ph n IV tìm các c u trúc m i và các i u ki n ho t ng cùng v i t s t t t nh t. Cu i cùng, chúng tôi so sánh lý thuy t v i thí nghi m. Dung sai thi t k đ a trên các c u trúc c th o lu n và so sánh trong Ph 1 c.

## II. CHUY N M CH TOÀN QUANG MZI-SOA C B N



Hình 1. (a) Chuyển mạch toàn quang dựa trên cấu hình MZI bao gồm hai bộ tách chùm 50 : 50 để phân chia và kết hợp tín hiệu dữ liệu  $P_{in}$  và 2 SOA phân cực tương đương. (b) Trạng thái không chuyển mạch, khi không có tín hiệu điều khiển  $P_C$  đặt vào, tín hiệu dữ liệu được đưa trực tiếp đến cổng chéo. Về mặt thực nghiệm, một sự dập tắt gần lí tưởng 29 dB được tìm thấy (cũng xem hình 8). Sự dịch pha gần bằng pi là cần thiết để chuyển tín hiệu đến đầu ra ngang, được cung cấp bởi tín hiệu điều khiển được ghép vào trong SOA1 qua bộ ghép C. Tuy nhiên, bởi vì độ lợi trong SOA1 thay đổi, trong khi độ lợi của SOA2 giữ nguyên, "off" trong  $P_x$  không tối ưu và tỉ số tắt quang giảm đến 13 dB.

u tiên, m t chuy n m ch toàn quang MZI-SOA i x ng c xem xét và tính không ng u c a t s t t u ra c th o lu n. Trong Hình. 1, chúng tôi ã miêu t m t chuy n m ch MZI i x ng tr ng thái chuy n m ch v à không chuy n m ch. Chuy n m ch MZI bao g m hai b tách chùm 50: 50, hai SOA (SOA1 và SOA2) và hai b ghép (C) a tín hi u i u khi n vào trong ph n SOA trên các c n MZI. Các SOA c phân c c t ng ng cung c p m t khu y ch i ng nh t. Trong tr ng thái không chuy n m ch, khi các tín hi u i u khi n v ng m t, tín hi u u vào  $P_{in}$  c g i tr c t i p v phía c ng chéo c a nó  $P_x$ , gi s r ng m i quan h v pha c i u ch nh chính xác. T s

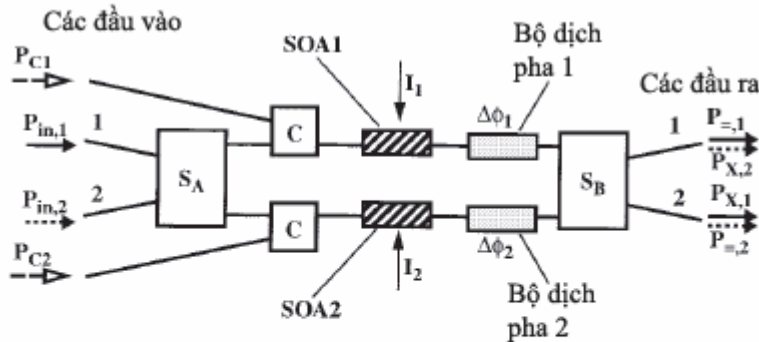
t t (công suất trong ng d n u ra chuy n m ch-t t b phân chia b i công suất trong ng d n u ra chuy n m ch- óng) cho tr ng thái này s l n lý t ng, hoàn h o. T s t t 29 dB trong hình. 1 (b) c p n giá tr t c trong các th nghi m c a Ph n V. Trong tr ng thái chuy n m ch, m t tín hi u i u khi n quang h c  $P_c$  làm bão hoà SOA1 và do ó, gây ra m t khuy ch i và s thay i chi t su t. M t tín hi u d li u  $P_{in}$  qua MZI ch u s d ch pha và s c chuy n m ch t c ng ra chéo  $P_x$  n c ng ra ngang  $P_+$ . Tuy nhiên, b i vì khuy ch i trong SOA1 thay i trong khi khuy ch i c a SOA2 không thay i, "t t" t i c ng  $P_x$  không ph i là t i u. Trong th nghi m, chúng tôi th y t s t t b suy gi m 13 dB. t c m t chuy n m ch toàn quang MZI-SOA v i các t s t t t ng ng trong các tr ng thái khác nhau c a nó khi có và không có tín hi u i u khi n, chúng ta ph i làm i x ng các t s t t c a chuy n m ch. i u này có th t c b ng cách gi m s cung c p dòng c a SOA2 mà không b nh h ng b i các tín hi u i u khi n  $P_c$ . V i nh ng thi t l p dòng m i, chúng tôi t c s chênh l ch khuy ch i c a các tr ng thái không chuy n m ch và chuy n m ch tr c b tách chùm 50: 50 th hai tr thành ng nh t. Do ó, các t s t t cân b ng cho c hai tr ng thái có th t t i 20dB. Chúng tôi ngh s phân c c không t ng ng c a m t chuy n m ch toàn quang MZI-SOA này òi h i s d ch pha thêm vào bù l i s d ch pha không mong mu n xu t hi n khi phân c c các SOA khác nhau.

Các MZI -SOA c b n ã ch ng minh s c n thi t ph i a tính b t i x ng (phân c c không cân b ng) c i thi n hi u su t chuy n m ch. T ng t , chúng tôi có th a vào nh ng b t i x ng khác c i ti n vi c chuy n m ch. M t chuy n m ch toàn quang 1x2 v i các t l t t lý t ng chính c hai u ra t c b ng cách cho phép phân c c không t ng ng các SOA và các b

tách chùm không đối xứng trong cấu hình MZI (Phần IV-B). Một chuyển mạch  $2 \times 2$  với vị trí các thành phần lý tưởng cho các tín hiệu dữ liệu hai đầu vào và hai đầu ra được vẽ ở vị trí bổ sung hai bộ khuếch đại quang học để phân tích trong cấu hình MZI (mục IV-C).

### III. PHÂN TÍCH

#### A. Cấu hình

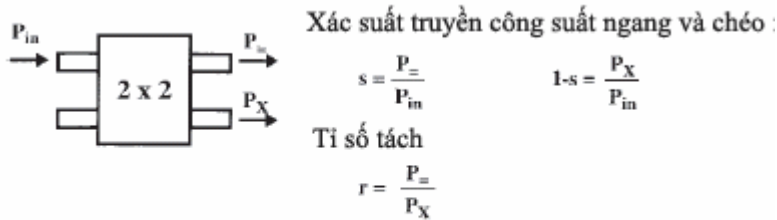


Hình 2. Chuyển mạch toàn quang SOA MZI tổng quát với các bộ dịch pha để thích ứng với các offset dịch pha và các bộ tách chùm  $S_A$  và  $S_B$  cho các tỉ số tách không đối xứng. Phụ thuộc vào mối quan hệ về pha trong các cần MZI, tín hiệu dữ liệu  $P_{in,1}$  được vẽ trên các đường dẫn đầu ra chéo  $P_{X,1}$  và ngang  $P_{-,1}$  và  $P_{in,2}$  được vẽ trên các đường dẫn đầu ra chéo  $P_{X,2}$  và ngang  $P_{-,2}$ . Mối quan hệ về pha trong các cần MZI bị thay đổi khi tín hiệu điều khiển  $P_{C1}$  và/hoặc  $P_{C2}$  được đưa vào qua bộ ghép C vào trong SOA1 và/hoặc SOA2 tương ứng.

Một chuyển mạch toàn quang MZI-SOA tổng quát, bao gồm một số các loại chuyển mạch toàn quang có thể nhìn thấy trong hình 2. MZI được cấu tạo thành hai bộ tách chùm  $S_A$  và  $S_B$  phân chia và kết hợp các tín hiệu dữ liệu  $P_{in,1}$  hoặc  $P_{in,2}$ , hai bộ ghép C đưa vào các tín hiệu điều khiển  $P_{C1}$  và  $P_{C2}$  và các SOA cùng cấp số phi tuyến cần thiết cho chuyển mạch. Hai bộ dịch pha được thêm vào offset pha trong MZI để thêm vào. Khi không có tín hiệu điều khiển, các tín hiệu dữ liệu các cần  $P_{in,1}$  và  $P_{in,2}$  được chuyển trực tiếp tới các cần chéo  $P_{X1}$

và  $P_{x2}$  tương ứng. Các tín hiệu đầu vào khi chiếu quang thích hợp  $P_{c1}$  và  $P_{c2}$ , qua vị trí đặt thiết bị liên quan sẽ thay đổi chi tiết, cảm ứng sẽ lệch pha  $\pi$  trong MZI chuyển mạch tín hiệu từ các cổng đầu ra ngang tương ứng của chúng  $P_{=,1}$  và  $P_{=,2}$ . Thiết bị tách công suất của các bộ tách chùm  $S_A$  và  $S_B$  có thể là vít s tách 50: 50. Các chuyển mạch toàn quang hình. 2 có thể sử dụng vị trí tín hiệu đầu vào khi ở mode bắc-không, mà còn trong cấu hình mode bắc-kép vị trí tín hiệu đầu vào khi ở mode bắc-nhật [9], [10].

### B. Mô hình



Hình 3. Định nghĩa các xác suất truyền công suất ngang và chéo và định nghĩa tỉ số tách đối với bộ tách 2 x 2 được dùng trong bài báo này.

Chúng tôi sẽ xây dựng phương pháp phân tích chuyển mạch toàn quang MZI-SOA tổng quát hình 2.

Trong mô hình chuyển mạch hình. 2, chúng tôi sử dụng mô hình các ký hiệu và các ma trận 2x2 [11]. Ma trận chuyển mạch toàn phần về vị trí truyền của tín hiệu đầu vào  $P_{in}$  trong trạng thái không chuyển mạch, khi không có tín hiệu đầu vào, và trong trạng thái chuyển mạch, khi  $P_{c1}$  hoặc  $P_{c2}$  có áp dụng, là:

$$t = \begin{bmatrix} -i\sqrt{S_B} & \sqrt{1-S_B} \\ \sqrt{1-S_B} & -i\sqrt{S_B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\Delta\phi_1} & 0 \\ 0 & e^{i\Delta\phi_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{G_1}e^{i\Delta\phi_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{G_2}e^{i\Delta\phi_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i\sqrt{S_A} & \sqrt{1-S_A} \\ \sqrt{1-S_A} & -i\sqrt{S_A} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Đây các ma trận ưu tiên và cụ thể cùng cho ta các bước tách chùm giao thoa ở mode 2x2 (MMI)  $S_A$  và  $S_B$  với xác suất công suất truyền ngang thay đổi  $S_A$  và  $S_B$ . Chúng liên quan đến các dòng sóng bước sóng tới từ các bước tách chùm, lan truyền theo hướng ngược nhau  $+i(\vec{k}\vec{z}-\omega t)$ . Những giá trị xác suất truyền công suất ngang được minh họa trong hình. 3. Mối quan hệ về pha giữa các bước tách chùm MMI được thảo luận trong [12] - [14]. Ma trận thể hiện hai mô tả các dòng pha được sinh ra từ các bước tách pha.  $\Delta\phi_1$  và  $\Delta\phi_2$  tương ứng là những offset pha trên các kênh MZI 1 và 2. Ma trận thể hiện ba biên độ khuếch đại  $G_1, G_2$  và số độ lệch pha  $\Delta\phi_1, \Delta\phi_2$  mà tín hiệu đầu vào khi nó đi qua SOA1 và SOA2.  $\Delta\phi_j^I + \Delta\phi_j^C$  với  $j = 1, 2$  là số độ lệch pha công suất trong các SOA do sự phân cực không đồng nhất của các dòng offset (đóng góp  $\Delta\phi_j^I$ ) và do các hiệu ứng suy giảm hấp thụ ít nhất một tín hiệu đầu vào khi nó đóng góp  $\Delta\phi_j^C$ . Các hệ số ghép, tính toán hiệu suất ghép các bộ ghép C. Không hạn chế tính tổng quát, chúng tôi đặt  $\epsilon = 1$  vì vậy đây là ứng dụng cho thiết bị được trình bày trong [9] và [10].

Với bất kỳ sự thay đổi khuếch đại nào, một sự thay đổi pha đi kèm theo theo hệ thức Kramers-Kronig. Tham số  $\alpha$  có quan hệ với hai hiệu ứng này trong phép gần đúng tuyến tính, do vậy chúng tôi có thể viết lại khuếch đại  $G_j$  với  $j = 1, 2$  theo khuếch đại tuyến tính truyền qua  $G_0$  và sự thay đổi pha tương ứng,

$$G_j = G_0 \cdot e^{\Delta g_j L} = G_0 \cdot e^{(-2\Delta\phi_j)/\alpha} \quad (2)$$

Dựa trên ưu tiên trong công thức (2) liên quan đến sự thay đổi khuếch đại  $\Delta g_j$  được tính trung bình trên SOA chiều dài  $L$  nên là khuếch đại  $G_j$ . Nó ứng



cho các b k h u c h i s ó n g c h y, l o i n à y s c ù n g m t c á c h l í t ñ g t r o n g c á c c h u y n m c h t o à n q u a n g. D u b ñ g t h h a i x é t l i ñ h ñ g h a v t h a s  $\alpha$ , là t s c a s t h a y i c h i t s u t t r ê n s t h a y i k h u y c h i.

$$\alpha \equiv \frac{-4\pi}{\lambda} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta g} \quad (3)$$

â y  $\lambda$  là b c s ó n g c a t í n h i u d l i u v à  $\Delta n$  s t h a y i c h i t s u t h i u d ñ g x á c ñ h s t h a y i p h a t o à n p h n q u a  $\Delta\phi_j = \Delta n L 2\pi / \lambda$ . T h a s a l p h a là h ñ g s v t l i u p h t h u c v à o b c s ó n g, m t ò n g v à v t l i u c s d ñ g c h o c á c S O A. C h ú n g t ô i g i s r ñ g t h a s a l p h a v n k h o n g i i v i m t i m h o t ñ g ñ h t ñ h. i u n à y là h p l ý, k h i t h i t b c h o t ñ g t i m t b c s ó n g c ñ h c c i k h u y c h i v à m t h t t i i n c i u b i n v a p h i b ñ g c á c t í n h i u i u k h i n, b i v ì c h ú n g t a a n g l à m v i c v i h i u ñ g i u b i n p h a c h é o (XPM) c h k h o n g p h i i u b i n k h u y c h i c h é o (XGM) [15]. X é t ñ h i u b c c a o c a c á c t í n h i u q u a n g h c m ñ h, c á c k t q u t í n t o á n l i b k h u y c h i t í n h t ñ n c t h c h i n v i m t m ô h ñ h S O A ñ h i u o n. T u y ñ h i ê n, c ñ g t r o n g m t m ô h ñ h ñ h i u o n, s t h a y i v p h a t o à n p h n v à s t h a y i k h u y c h i t o à n p h n t u â n t h e o c o n g t h c (2) m i n là t h a s a l p h a g i k h o n g i. t í n h t o á n v i m ô h ñ h n à y, c h ú n g t ô i g i s t h ê m r ñ g t í n h i u i u k h i n c a c h ú n g t ô i l à u ( ò a i h n 1 p s t r o n g I n G a A s P 1,55) c á c h i u ñ g p h c h i n i v ù n g, c h ú n g s l à m b i n i g i á t r c a t h a s a l p h a, s k h o n g x u t h i n.

C o n g s u t u r a ñ g a n g v à c h é o c a c h u y n m c h t o à n q u a n g b â y g i c ó t h c t í n t o á n b ñ g c á c h á n g i á c o n g t h c (1) d i s x e m x é t c o n g t h c (2). i u q u a n t r ñ g c n l u ý r ñ g m a t r n t là m t m a t r n t r u y n c a c á c b i ê n

trên. Từ các mối quan hệ cho công suất u ra, chúng ta phân tích bình phương các yếu tố ma trận  $t_{ij}$  của ma trận  $t$ . Dùng những giả thiết cho công suất u ra ngang và chéo của ra trong hình. 2, chúng ta nhận các kết quả cho mô tả tín hiệu đầu vào và đầu ra vào 1.

$$P_{o,1} = |t_{11}|^2 P_{in,1}$$

$$P_{X,1} = |t_{21}|^2 P_{in,1} \quad (4a)$$

Và cho mô tả tín hiệu đầu vào và đầu ra vào 2.

$$P_{X,2} = |t_{12}|^2 P_{in,2}$$

$$P_{o,2} = |t_{22}|^2 P_{in,2} \quad (4b)$$

Với:

$$|t_{11}|^2 = C \left[ 1 - 2\sqrt{r_A r_B} \cos(\Delta\phi + \Delta\phi_{12}) e^{-\Delta\phi_{12}/\alpha} + r_A r_B e^{-2\Delta\phi_{12}/\alpha} \right] \quad (5a)$$

$$|t_{21}|^2 = C \left[ r_B + 2\sqrt{r_A r_B} \cos(\Delta\phi + \Delta\phi_{12}) e^{-\Delta\phi_{12}/\alpha} + r_A e^{-2\Delta\phi_{12}/\alpha} \right] \quad (5b)$$

$$|t_{12}|^2 = C \left[ r_A + 2\sqrt{r_A r_B} \cos(\Delta\phi + \Delta\phi_{12}) e^{-\Delta\phi_{12}/\alpha} + r_B e^{-2\Delta\phi_{12}/\alpha} \right] \quad (5c)$$

$$|t_{22}|^2 = C \left[ r_A r_B - 2\sqrt{r_A r_B} \cos(\Delta\phi + \Delta\phi_{12}) e^{-\Delta\phi_{12}/\alpha} + e^{-2\Delta\phi_{12}/\alpha} \right] \quad (5d)$$

Ở đây, các tham số tách của bộ ghép có những giả thiết là:

$$r_A \equiv \frac{s_A}{1 - s_A}$$

$$r_B \equiv \frac{s_B}{1 - s_B} \quad (6)$$

Và biên ghép C cũng như là:

$$C = c^2 \cdot G_2 \cdot (1 - s_A)(1 - s_B) \quad (7)$$

**BẢNG I**  
CÁC THAM SỐ THIẾT KẾ CỦA CÁC CHUYỂN MẠCH TOÀN QUANG SOA MZI VỚI CÁC TỈ SỐ TẮT CAO

Hình thiết bị	tỉ số $r_A$	tỉ số $r_B$	$\Delta\phi$	$\Delta\phi'_{12}$	Các đặc tính	Số đường dẫn đầu vào với sự dập tắt cao; Sự dập tắt tốt nhất có thể
(A) Chuyển mạch phân cực không tương đương Hình 5	1	1	$90^\circ$	$-90^\circ$	Một loại SOA, dung sai thiết kế không khắt khe	Gần $20^2$ ; dB mỗi cái (phụ thuộc vào thừa số alpha)
(B1) Một bộ tách chùm không đối xứng Hình 6	1	$e^{-\pi/\alpha}$	$90^\circ$	$-90^\circ$	Một loại SOA, băng thông bước sóng tốt, đặc biệt với bộ tách chùm SA 1 x 2	1 ; lí tưởng
(B2) Hai bộ tách chùm không đối xứng	$e^{\pi/\alpha}$	$e^{-\pi/\alpha}$	$0^\circ$	$0^\circ$	Một loại SOA	1 ; lí tưởng
(C) Hai chuyển mạch thừa số alpha Hình 7	1	1	$0^\circ$	$0^\circ, 0^\circ$	Hai loại SOA với thừa số alpha khác nhau	2 ; lí tưởng

thứ nhất, chúng tôi sẽ sử dụng ký hiệu  $\Delta\phi_{12}$  để chỉ độ lệch pha giữa các pha trong SOA1 và các pha trong SOA2.

$$\Delta\phi_{12} \equiv \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 \quad (8)$$

Vì các tham số  $\Delta\phi_{12}^I$  và  $\Delta\phi_{12}^C$  cùng với các tham số offset pha.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 \quad (9)$$

### C. Các bước tính toán

Để tính các tham số của quá trình chuyển mạch, sử dụng phương trình (1) để tính các tham số. Vì vậy, để tính các tham số, sử dụng phương trình (1) để tính các tham số trong công thức chuyển mạch-tính toán và tính toán các tham số. Đó là các tham số khác, có thể sử dụng phương trình phân bố

giả "1" so với "0" được ra từ một công thức. Đó là một bất đẳng thức. Mặc dù hai nhà nghiên cứu khác nhau nhưng chúng dẫn đến các kết quả giống nhau. Đặc biệt, trong trường hợp bất đẳng thức cao lý thuyết, các bất đẳng thức cao lý thuyết. Vì lý do đó, chúng ta sẽ trình bày một số kết quả nổi bật. Biểu thức của bất đẳng thức khác nhau khi làm việc với bất đẳng thức cho Phần C.

Theo định lý thu được bên trên, các bất đẳng thức trong trường hợp không chuyển mạch  $X^N$ , và tính hiệu quả khi  $n$  (chỉ số trên  $N$ ), và trong trường hợp chuyển mạch  $X^C$ , có một tính hiệu quả khi  $n$  (chỉ số trên  $C$ ) đặc biệt là các bất đẳng thức công suất

$$X_j^N = \frac{P_{on}}{P_{off}} \Big|_{P_{c,off}} = \frac{P_{X,j}}{P_{=,j}} \Big|_{P_{c,off}}$$

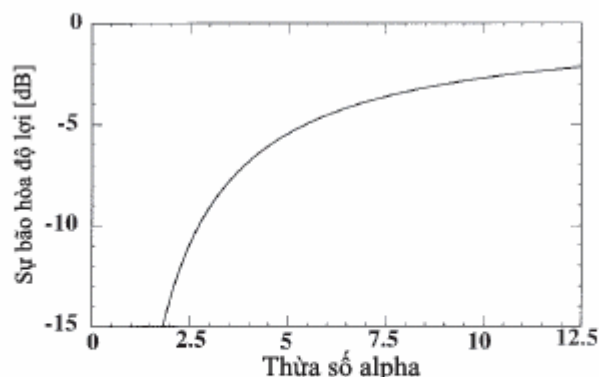
$$X_j^C = \frac{P_{on}}{P_{off}} \Big|_{P_{c,on}} = \frac{P_{=,j}}{P_{X,j}} \Big|_{P_{c,on}} \quad (10)$$

Với  $P_{on}$  là công suất trong trường hợp dẫn ra chuyển mạch- $m$  và  $P_{off}$  là công suất trong trường hợp dẫn ra chuyển mạch-ống nối với các tính hiệu quả ghép lại vào trường hợp dẫn ra vào  $j=1, 2$ .

Trong trường hợp không chuyển mạch, các số hạng trong (10) phải có dạng với  $\Delta\varphi_{12}^C=0$ . Trong trường hợp ngược lại, ta sẽ dùng (10) với  $\Delta\varphi_{12}^C \neq 0$  trong trường hợp chuyển mạch.  $\Delta\varphi_{12}^C$  dùng khi tính hiệu quả khi ghép vào SOA1 và  $\Delta\varphi_{12}^C$  âm khi tính hiệu quả khi ghép vào SOA2.

Với (4a) - (9), biểu thức về các bất đẳng thức công thức (10) bây giờ có thể có thể biểu diễn như hàm của các biến  $\Delta\phi, \Delta\varphi_{12}^I, \Delta\varphi_{12}^C, s_A, s_B$ . Tuy nhiên, một số biến phụ thuộc vào nhau. Chúng ta có thể trình bày không gian nghiệm cho các trường hợp





Hình 4. Sự bão hòa độ lợi toàn phần sau khi thiết lập lại chuyển mạch toàn quang về trạng thái ban đầu với xung điều khiển thứ hai (hình 2). Xung điều khiển thứ nhất PC1 được dùng để chuyển trạng thái chéo thành trạng thái ngang và xung điều khiển thứ hai PC2 được đưa vào sau một khoảng thời gian để thiết lập lại chuyển mạch. Sự bão hòa giảm khi tăng thừa số alpha.

Bây giờ chúng ta thảo luận về ba tính bất biến của cấu trúc chuyển mạch toàn quang MZI-SOA với các tham số cấu hình (Bảng I). Chúng tôi chọn các điều kiện sao cho chúng thích hợp cho các ứng dụng các bộ ghép kênh xen kẽ và các bộ ghép kênh xen kẽ.

Ghép kênh xen kẽ tốc độ cao với chuyển mạch nhanh bằng 1 ps là một thách thức khi ánh sáng liên tiếp được ghép vào trong hai SOA của chuyển mạch MZI-SOA [16]. Phương pháp này sử dụng một tín hiệu ánh sáng thứ nhất chuyển mạch một tín hiệu đầu tiên ra vào cái còn lại và một tín hiệu ánh sáng thứ hai thì tiếp tục chuyển mạch. Khi tín hiệu ánh sáng thứ hai đi vào, ví dụ, vào SOA1, thì tiếp tục chuyển mạch do sự thay đổi chiết suất gây ra bởi sự suy giảm nhiệt độ siêu nhanh trong SOA1 từ trạng thái chéo thành trạng thái ngang. Sau một khoảng thời gian ngắn ngắn với chiều dài bit hoặc chiều dài mét gói, tín hiệu ánh sáng thứ hai đi vào trong SOA2 tiếp theo. Tín hiệu này chuyển mạch thì tiếp tục lại từ trạng thái chuyển mạch ban đầu – sử dụng lại hiệu ứng suy giảm nhiệt độ siêu nhanh.

Khi thí nghiệm tái tạo sóng ánh sáng phân cực thì hai xung ánh sáng, SOA1 và SOA2 cùng nhau được tái tạo nên các tia ánh sáng phân cực cho nên khi chiếu chúng qua kính phân cực thì chúng mất liên lạc.

Sau đó, chúng ta thử nghiệm tác động của tín hiệu ánh sáng như thế. Tác động của xung ánh sáng hai được thực hiện một cách ngẫu nhiên. Chưa, nó thì tiếp nhận lại pha trong MZI cho các thí nghiệm toàn quang chuyển mạch từ trạng thái ban đầu. Thêm vào đó, xung ánh sáng hai thì làm bão hòa SOA thì hai, sao cho khuếch đại toàn phần của tín hiệu đầu vào nén ngay sau các chuyển mạch. Sự bão hòa của khuếch đại phụ thuộc vào giá trị của tham số alpha (hình 4). Tham số alpha càng cao, sự bão hòa của khuếch đại càng nhỏ. Hình 4 thể hiện cách tính  $P_x$  của biểu thức (4) cho các trường hợp cụ thể, đó là hai xung ánh sáng phân cực:  $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = \pi$ . Thông thường, hai xung ánh sáng phân cực vào liên tiếp cho các thí nghiệm tái tạo lại trong không gian và sự bão hòa khuếch đại ít nghiêm trọng hơn.

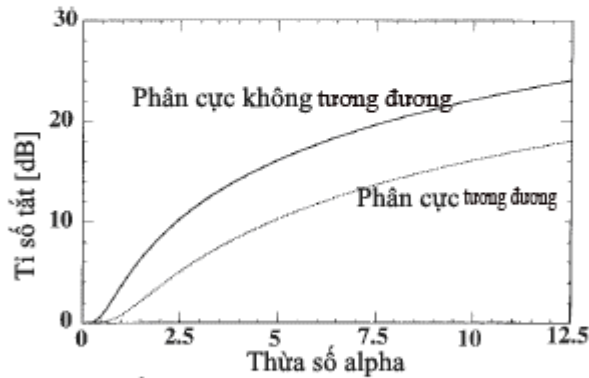
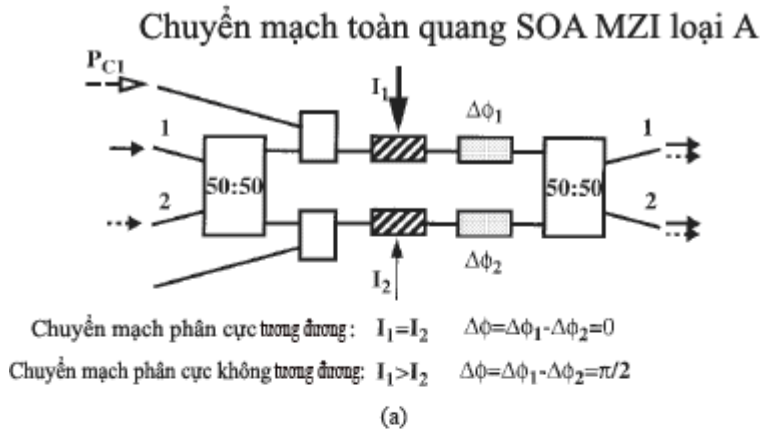
#### A. Các chuyển mạch toàn quang và các bộ tách chùm ánh sáng.

Khi các bộ tách chùm  $S_A$  và  $S_B$  là phân cực - khi chúng có tỉ số 50:50, thì nguyên lý quy tắc của chúng ta là:

$$r_A = r_B = 1 \quad (14)$$

chúng ta có thể phát biểu nguyên tắc tính chuyển mạch không phụ thuộc vào thành phần vào của sóng. Các trường hợp chéo và ngang của một tín hiệu đầu vào 1 và các trường hợp chéo và ngang của một tín hiệu đầu vào 2 có các tính giống nhau. Phát biểu này đúng với tín hiệu ánh sáng phân cực và không phân cực. Thậm chí nó còn đúng khi các SOA phân cực không đồng

ng. xác định phát biểu này, cần chứng minh rằng  $|t_{11}| = |t_{22}|$  và  $|t_{12}| = |t_{21}|$  khi dùng (14) trong (5a)-(5d). Do đó, chúng ta nhận thấy rằng ghép kênh xen r MZI-SOA 2x2 có xây dựng một cách thuận lợi vì các bộ tách chùm i x ng  $S_A$  và  $S_B$ . Ngược lại, các bộ ghép kênh MZI SOA 1x2 xen hoặc r có thể có thể thi t k thuận lợi hơn vì các bộ tách chùm không i x ng.



Hình 5. (a) Chuyển mạch toàn quang 2x2 với các SOA phân cực cân bằng và không cân bằng và các bộ tách chùm đối xứng (50:50). (b) Ti số tắt có thể đạt tới cải tiến cao hơn giá trị của thừa số alpha phụ thuộc vật liệu. Các đường chấm chấm cho thấy sự dập tắt có thể đạt được đối với “chuyển mạch phân cực tương đương” trong trạng thái chuyển mạch (PC1 on) và các đường liền nét cho thấy sự dập tắt được cải tiến và được cân bằng đối với “chuyển mạch phân cực không cân bằng” trong cả hai trạng thái chuyển mạch và không chuyển mạch.

1. Các bộ tách chùm i x ng, chuyển mạch toàn quang phân cực t ng ng.



$r_A = r_B = 1, \Delta\phi_{12}^I = 0$ : Các chuyển mạch toàn quang MZI-SOA 2x2 có phân cực tuyến tính và vi tách chùm tia ngang dẫn tới sự mất cân bằng (Hình 1). Nó minh họa vi tách chùm tia ngang (13b) và thiết lập trạng thái  $X^C$  của chuyển mạch nhậm theo tham số  $\alpha$ . Như được thể hiện trong hình (5b) cho thấy sự mất cân bằng có thể thiết lập trạng thái  $X^C$  của tín hiệu nào và sự mất cân bằng của tham số  $\alpha$ . Với tham số  $\alpha$  bằng 7.4, sự mất cân bằng trạng thái  $X^C$  có giá trị cao và pha 13dB. Tham số 7.4 tương ứng với giá trị thực xác định bằng thực nghiệm từ các dữ liệu của thí nghiệm đưa vào trong phần V.

## 2. B tách chùm tia ngang, chuyển mạch toàn quang phân cực không tuyến tính

$r_A = r_B = 1, \Delta\phi_{12}^I \neq 0$ : Chuyển mạch toàn quang MZI-SOA phân cực tuyến tính và vi tách chùm tia ngang minh họa một cách rõ ràng rằng sự mất cân bằng không thể đảm bảo một chuyển mạch vi chuyển mạch trạng thái (trạng thái  $X^N$ ) có sự mất cân bằng. Tuy nhiên, sự mất cân bằng cao và cân bằng có thể được thực hiện bằng cách phân cực không cân bằng các SOA [7]. Với [11] – [13b], chúng ta có thể xác định các tham số hoạt động của chuyển mạch phân cực không tuyến tính và sự mất cân bằng. Với yêu cầu  $X^N = X^C$ , ta tìm được:

$$\Delta\phi_{12}^I = -\pi/2 \text{ và } \Delta\phi = \pi/2 \quad (15)$$

Điều kiện có nghĩa là sự phân cực của dòng thêm vào trên SOA1 – bộ khuếch đại dẫn tín hiệu và điều kiện ưu tiên pha của áp dụng. Sự điều chỉnh của dòng thêm vào có thể thiết lập được khi lệch pha tương ứng là  $-\pi/2$ . Sự mất cân bằng cao, sự lệch pha của mô hình này phụ thuộc vào sự bù trừ của các bộ lệch pha tích cực của mỗi phần trong hai của (15).

Tổng quát có thể thấy rằng hàm theo thứ tự  $\alpha$ , với dòng SOA phân bố không đồng đều trong miền không gian thì hàm công thức (15), là nguyên nhân của hình 5(b). Với thứ tự  $\alpha$  pha bằng 7.4, các tổng quát có 20dB với các trạng thái. Vì vậy cho các tổng quát cao hơn với các thí nghiệm này, nghiên cứu tập trung vào các vật liệu với thứ tự  $\alpha$  riêng. Thí nghiệm với tín hiệu với một hoặc hai đầu vào.

*B. Chuyển mạch toàn quang với các bộ tách chùm không phân cực*

Các ứng dụng ghép kênh xen kẽ nhận được từ các chuyển mạch 1x2. Với những ứng dụng như thế, [14] quá hạn chế. Khi cho phép các bộ tách chùm không phân cực kết hợp với các dòng phân bố không đồng đều, các tổng quát và nguyên tắc có thể lý giải với các tín hiệu đầu vào trong hai đầu vào.

Các tham số cho chuyển mạch này được tìm thấy bằng cách đòi hỏi sự sinh ra cao hơn trong biểu thức (13a)-(13b), chứng minh với các tín hiệu đầu vào là bằng không. Hai trong ba biến  $r_A, r_B$  và  $\Delta\varphi_{12}^I$  được dùng để giải hai phương trình của các trạng thái chuyển mạch và không chuyển mạch.

Trong phần IV-B1, chúng tôi đã phân tích thí nghiệm với các bộ tách chùm không phân cực và các dòng phân bố không đồng đều. Trong thí nghiệm, thí nghiệm này nên ghi nhận thí nghiệm phần IV-B2 với hai bộ tách chùm không phân cực khác nhau.

*1. Chuyển mạch toàn quang với một bộ tách chùm không phân cực:*

Các điều kiện các tổng quát lý giải của tín hiệu đầu vào đầu vào một với một tín hiệu đầu vào khi đưa vào SOA1 do (13a)-(3b).

Với trạng thái  $X_1^N$  lý giải

$$2\Delta\varphi_{12}^I/\alpha - \ln(r_A) - \ln(r_B) = 0 \quad (16a)$$

điều kiện trạng thái  $X_1^C$  lý tưởng

$$2\Delta\varphi_{12}^I/\alpha - \ln(r_A) + \ln(r_B) = -2\pi/\alpha \quad (16b)$$

Bởi vì chúng ta chọn hai biên độ  $r_A$  và  $r_B$  (16a) và (16b), chúng ta có thể điều chỉnh biên độ tách chùm  $S_A$  thích hợp. Điều kiện này dẫn chúng ta đến một thiết bị với

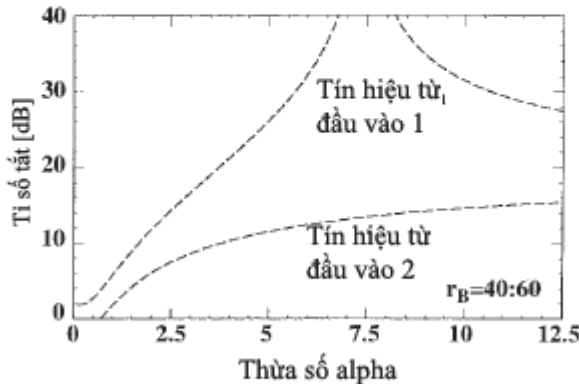
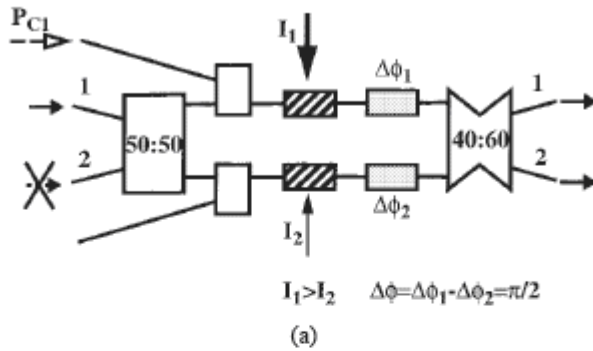
$$r_A = 1 \quad (17a)$$

$$r_B = e^{-\pi/\alpha} \quad (17b)$$

$$\Delta\varphi_{21}^I = -\pi/2 \quad \longrightarrow \quad \Delta\varphi = \pi/2 \quad (17c)$$

Với  $r_A = 1$  điều kiện biên độ tách chùm 50:50 không cần thiết. Thiết bị tách  $r_B$  dẫn chúng ta đến một thiết bị tách chùm không thích hợp. Bởi vì thiết bị tách chùm không thích hợp các MMI kích thước  $2 \times 2$  nhúng trong bảng [14] có thể sử dụng. Chúng ta có thể tính toán mô hình ma trận điều kiện biên độ tách chùm MMI cho trong (2). Sự phân bố dòng pha chọn không thích hợp sao cho lệch pha tương ứng  $\Delta\varphi_{21}^I = -\pi/2$  và theo [11], cần một lệch pha offset là  $\pi/2$ .

### Chuyển mạch toàn quang SOA MZI loại B1



Hình 6. Chuyển mạch toàn quang 1x2 phân cực không tương đương với bộ tách chùm không đối xứng. Đối với tín hiệu từ đầu vào 1, các tỉ số tắt lí tưởng đạt được trong trạng thái không chuyển mạch (PC1off) và chuyển mạch (PC1on) với bộ tách chùm 40:60 đối với các SOA với thừa số alpha quanh 7.4. Các tỉ số tắt đối với tín hiệu từ đầu vào 2 nghèo. Chuyển mạch 1x2 này được tối ưu hóa đối với tín hiệu từ đầu vào 1.

Trong hình 6 chúng ta thấy một chuyển mạch toàn quang 1x2 có phân cực không tương đương với bộ tách chùm 50:50 và bộ tách chùm 40:60. Một bộ tách chùm 40:60 phù hợp chọn theo (17b) với các SOA với thừa số  $\alpha$  bằng 7.4.

phía phía hình 6, chúng tôi đã dùng sai thì kết quả sẽ không đúng theo thừa số  $\alpha$ . Với các tín hiệu từ đầu vào 1, chúng tôi thấy một kết quả lý tưởng trong trạng thái chuyển mạch và không chuyển mạch quanh thừa số  $\alpha = 7.4$ . Tuy nhiên suy giảm khi thừa số  $\alpha$  lớn quá nhiều so với giá trị này, tức là giá trị mà chuyển mạch có thể kết. Dùng chuyển mạch với các tín hiệu từ đầu vào

hai, tất cả cùng thể, bởi vì chuyển mạch có thể cấu hình lại vì các tín hiệu trong hai đầu vào.

Chúng có thể thay thế tách chùm  $S_A$  MMI 2x2 bằng một bộ tách chùm 1x2 bởi vì thanh dẫn vào hai không cần dùng. Điều này sẽ cho phép giảm offset  $\pi/2$  của các bước sóng pha. Bước sóng không cần nối bởi vì ma trận ghép MMI 2x2 cho trong (2) chứa một trễ hoãn pha  $\pi/2$  giữa hai tín hiệu bộ tách, nó giảm về bộ tách chùm 1x2 vì lý do tương tự. Do đó, chúng ta có thể viết lại (17c) theo phiên bản về bộ tách chùm  $S_A$  1x2.

$$\Delta\varphi_{12} = -\pi/2 \longrightarrow \Delta\varphi = 0 \quad (18)$$

Chúng tôi minh họa hai ứng dụng. Khi dùng, chúng ta nhìn thấy MMI 1x2 trong [12] thay cho bộ tách chùm MMI 2x2, bằng thông báo sóng và dung sai chế tạo độ gợn nhều, bởi vì MMI 1x2 gần như các MMI 2x2 [18].

## 2. Chuyển mạch toàn quang về hai bộ tách chùm không tương xứng

Bộ ghép kênh 1x2 về mặt lý thuyết và dòng phân cực tương xứng có thể rút ra từ (16a) và (16b) về điều kiện tương xứng  $\Delta\varphi_{21} = 0$ . Tuy nhiên, ngược lại như những trường hợp trước, tất cả lý thuyết phức tạp của hai bộ tách chùm không tương xứng về mặt tách không tương xứng

$$r_A = e^{\pi/\alpha} \quad (19a)$$

$$r_B = e^{-\pi/\alpha} \quad (19b)$$

trong trường hợp  $\alpha$  bằng 7.4, tất cả tách ưu tiên tương xứng về bộ tách chùm 60:40 và cái sau tương xứng về bộ tách chùm 40:60. Cần chú ý rằng phương trình các biên trong (19a) và (19b) không chỉ định các tất cả lý thuyết  $X_1^N, X_1^C$  mà còn là  $X_2^N$ . Phiên bản này của chuyển mạch toàn quang về hai bộ tách chùm không

ix ng t ng ng v i thi t b c xu t trong[8]. Trình di n th c nghi m c cho trong [9].

C. Chuy n m ch toàn quang v i hai c p SOA ho t ng không ix ng

Chuy n m ch toàn quang MZI-SOA 2x2 v i các t s t t lý t ng (hình 7) có th thu c v i hai t p h p các b khu ch i: SOA' và SOA'', c hai u có th a s  $\alpha'$  và  $\alpha''$  khác nhau. thay i t tr ng thái không chuy n m ch thành chuy n m ch, hai tín hi u i u khi n  $P_{c1}'$  và  $P_{c1}''$  c a vào ng th i t phía trái vào trong các b khu ch i SOA' và SOA''. Công su t c a tín hi u i u khi n c ch n sao cho s bão hòa l i trong hai SOA b ng nhau nh ng l ch pha c c m ng gi a hai c n MZI t ng m t l ng  $\pi$ . Vì c l a ch n này luôn luôn có th khi hai SOA có th a s  $\alpha$  khác nhau. Do ó, l i trong hai c n MZI i x ng trong tr ng thái không chuy n m ch mà còn i x ng trong tr ng thái chuy n m ch. thi t l p l i l ch pha  $\pi$  trong MZI, tín hi u i u khi n t ng t có th c a vào t phía ph i.

S l ch pha c a hai tín hi u i u khi n c n thi t chuy n m ch, theo (13a) và (13b). tìm ra nh ng bi u th c rõ ràng, chúng ta ph i m r ng lý thuy t c xây d ng cho các chuy n m ch toàn quang c a hình hai n tr ng h p hình 7. B i vì chuy n m ch m i có hai môi tr ng l i, chúng ta ph i th

$$\Delta\varphi_{12} \longrightarrow \Delta\varphi_{12}' + \Delta\varphi_{12}'' \quad (20)$$

$$\Delta\varphi_{12} / \alpha \longrightarrow \Delta\varphi_{12}' / \alpha' + \Delta\varphi_{12}'' / \alpha'' \quad (21)$$

Các s h ng  $\varphi$  ch a m t ch s trên I và C c thay th theo nh ngh a c a chúng hoàn toàn t ng t . Các gi i h n (11) và (12) v n còn nguyên giá tr và ph i c th vào theo phép th (20).

Cu i cùng chúng ta có th vi t l i b n i u khi n cho t s t t lý t ng i v i m t tín hi u t thanh d n u vào 1 và tín hi u t thanh d n u vào hai

trong trạng thái chuyển mạch và không chuyển mạch tương ứng với những cái (16a) và (16b). Hãy tiếp tục các phương trình này cho chúng ta.

$$r_A = r_B = 1 \quad (22)$$

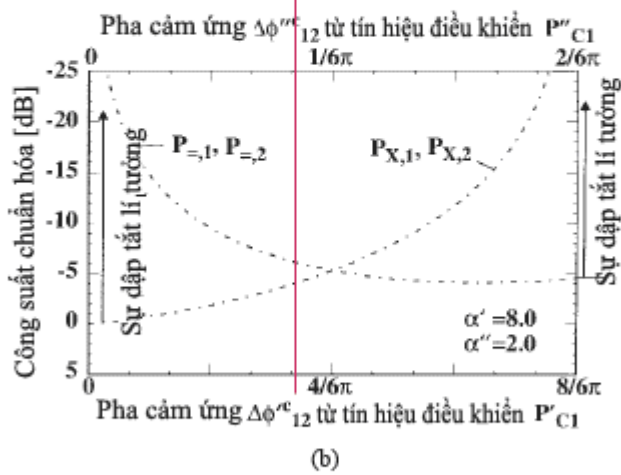
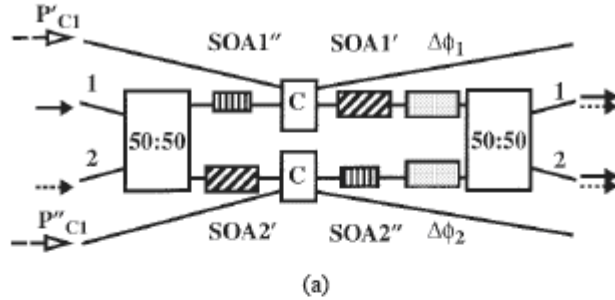
$$\frac{\Delta\phi'_{12}}{\alpha'} + \frac{\Delta\phi''_{12}}{\alpha''} = 0 \quad (23)$$

$$\Delta\phi'_{12} = \frac{1}{1 - \alpha''/\alpha'} \pi \quad (24a)$$

Và

$$\Delta\phi''_{12} = \frac{-\alpha''/\alpha'}{1 - \alpha''/\alpha'} \pi \quad (24b)$$

Chuyển mạch toàn quang SOA MZI loại C



Hình 7. (a) Chuyển mạch toàn quang 2x2 với bộ tách chùm đối xứng và hai cặp bộ khuếch đại (SOA' và SOA'') với thừa số alpha khác nhau. Điều này cho phép chuyển mạch toàn quang 2x2 với các tỉ số tắt lí tưởng. (b) Chuyển mạch "on" hoàn toàn của trạng thái ngang và chuyển mạch "off" hoàn toàn của trạng thái chéo được tìm thấy, khi đưa đồng thời hai tín hiệu điều khiển  $P'_{C1}$  và  $P''_{C1}$  vào chuyển mạch. Tính chất chuyển mạch lí tưởng này đạt được đối với các tín hiệu từ đầu vào 1 và 2.

Mặt khác, chuyển mạch toàn quang với sự tắt lí tưởng ở vị trí các tín hiệu đầu vào hai thành phần vào có các bộ tách chùm  $S_A$  và  $S_B$  [xem thêm ở luận [14]]; các cặp bộ khuếch đại có thể phân cực chéo  $\Delta\phi'_{12} = \Delta\phi''_{12} = 0$  và do đó các bộ tách pha tích cực do (11) không cần thiết. Với dấu (+) trong (12), mặt chuyển mạch tùy ý đưa vào tín hiệu đầu vào khi cần thì phía trái chúng ta thấy rằng công suất tín hiệu đầu vào khi cần phải cân sao cho chúng có cùng pha cho trong (24).



Các thí nghiệm thực tế chia các bộ tách chùm tia sáng, các bộ khuếch đại SOA' phân cực tuyến tính có thể có thể  $\alpha = 8$  và các bộ khuếch đại SOA'' với thể  $\alpha = 2$ , sao cho tín hiệu đầu vào khi đi qua C cũng có pha lệch pha là  $\Delta\phi_{12}^C = 8/6\pi$  và  $\Delta\phi_{12}^C = 2/6\pi$ . Mặc dù thể  $\alpha$  là hằng số phụ thuộc vào vật liệu, giá trị của nó thay đổi đáng kể trong phạm vi sóng và ở các mức tiêu thụ điện năng khác nhau. Giá trị 8 và 2 ở thể  $\alpha$  là hợp lý, bởi vì trong này có bao phủ khi đi qua vùng cực và/hoặc biên mức tiêu thụ điện năng trong các bộ khuếch đại [17],[19]. Khi vận hành thì tín hiệu đầu vào khi đi qua  $\Delta\phi_{12}^C$  và  $\Delta\phi_{12}^C$ , công suất trong trạng thái ngang  $P_{=,1}$  và  $P_{=,2}$  chuyển đổi thành và công suất trong  $P_{x,1}$  và  $P_{x,2}$  chuyển đổi thành mô tả trong hình (7b). Chúng ta tìm kiếm các trạng thái lý tưởng cho các tín hiệu đầu vào và đầu ra. So sánh với chuyển đổi toàn quang với bộ tách chùm không phân cực, bây giờ chúng ta có mô tả về vị trí trạng thái lý tưởng cho tất cả các thành phần đầu vào và đầu ra. Tuy nhiên, giá trị giảm đáng kể của trạng thái ngang.

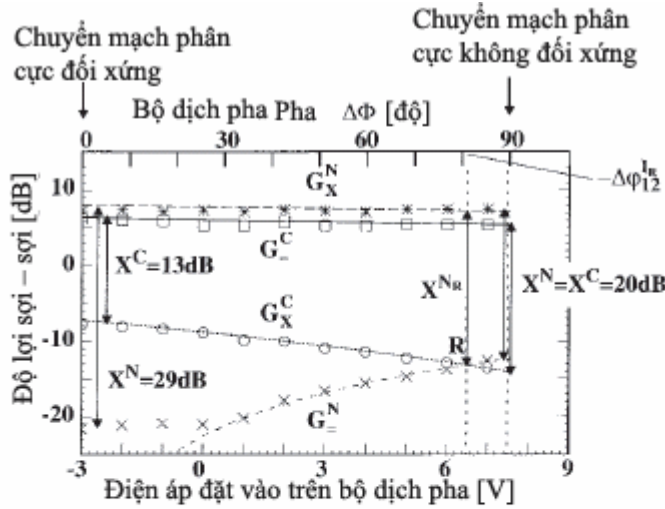
Thực tế bản chất lý tưởng, trên nguyên tắc chúng ta có hai SOA không đồng nhất, mỗi cái với thể  $\alpha$  khác nhau. Do đó, phiên bản này gần như là làm việc hoàn toàn với hai bộ khuếch đại, một với thể  $\alpha'$  trên các MZI 1 và một với thể  $\alpha''$  trên các MZI 2. Tuy nhiên sẽ khó khăn để điều chỉnh pha offset, và thời gian tích lũy điện năng không đồng nhất có thể làm suy giảm hiệu suất.

## V. THỰC NGHIỆM

Để minh họa các chuyển đổi toàn quang với trạng thái phân cực, chúng tôi đã nghiên cứu các chuyển đổi toàn quang MZI SOA của hình 5. Các thí nghiệm thực tế và mô phỏng thực tế. Đầu tiên, chúng tôi xác định các vị trí

thiết kế khi thiết kế chuyển mạch toàn quang với các bộ tách chùm tia và các SOA phân cực ngang và chuyển mạch toàn quang với bộ tách chùm tia và các SOA phân cực không đồng cực. Thứ hai, chúng tôi chế tạo phiên bản “phân cực không đồng cực” mang tính thiết kế cân bằng và cao nhất để đánh giá các tiêu chí về hiệu suất chuyển mạch 25ps. Thiết kế của chúng tôi sử dụng bộ tách chùm MMI 2x2  $S_A$  và  $S_B$  với tỷ lệ tách 50:50. Các MMI được kết nối bằng cách ghép trong tín hiệu đầu khi quang mode bậc không qua các bộ ghép C.

Trong các chuyển mạch InGaAsP-InP MZI SOA được chế tạo bằng kỹ thuật epitaxy pha hơi kim loại hai bước (MOVPE) trên mặt phẳng (001) của InP. Các lớp SOA với độ dày  $0.22\mu m$  và  $1.58\mu m$  và lớp hoạt tính InGaAsP được phát triển đầu tiên. Sau đó, vùng bên ngoài di tích SOA dài  $500\mu m$  bên trong, rồi sau đó hình thành lớp tiếp giáp dẫn sóng thẳng (InGaAsP độ dày  $0.6\mu m$  và  $1.28\mu m$  theo sau bởi lớp tiếp giáp InP độ dày  $1.6nm$ ). Hai lớp khác nhau được ghép xen vào. Các dẫn sóng được hình thành bằng cách nhúng vào  $1.7\mu m$  vào SOA và được cấu trúc dẫn sóng. Các MMI 2x2 được nhúng theo các bộ kết nối như các dẫn sóng. Chúng có kích thước  $450\mu m \times 17.5\mu m$ . Lớp InGaAsP phát p-n được đặt phía trên của hai phần dẫn sóng để tạo tiếp xúc tốt với kim loại vàng. Hai phần này đã hình thành nên bộ dẫn pha ánh sáng. Tổng kích thước của chip chuyển mạch là  $9mm \times 1.3mm$ . Các mặt của dẫn sóng được chế tạo bằng phương pháp khắc và chip được làm mát để cho phép vận hành nhanh và dễ dàng chia tách.



Hình 8. Độ lợi sợi – sợi được đo và được tính toán đối với chuyển mạch toàn quang được cho trong hình 5 minh họa sự cải tiến theo hướng tỉ số tắt cao và cân bằng khi đi từ chế độ hoạt động phân cực đối xứng với tỉ số tắt chênh lệch nhiều (13 và 29 dB) đến chế độ hoạt động phân cực không cân bằng với hai tỉ số tắt giống nhau 20 dB. Tại điện áp offset -3V, chế độ phân cực đối xứng được tìm thấy đối với các dòng SOA1 và SOA2 gần bằng nhau 192 và 182 mA. Sự phân cực không cân bằng các SOA bằng cách giảm dòng SOA2 từ 182 đến 162 mA trong khi bù sự dịch pha cảm ứng với các bộ dịch pha tích cực dẫn đến chế độ hoạt động phân cực không cân bằng tại một điện áp offset  $V=7.6$  V. XNR là tỉ số tắt được dùng để tính thừa số alpha, tham số phù hợp duy nhất của các đường cong tính toán.

Sự cải tiến hướng về hai tỉ số tắt cao và cân bằng của chuyển mạch toàn quang, khi dẫn đến di chuyển từ phân cực chéo sang mode hoạt động phân cực không đồng pha được cho trong hình 8. Sự cải tiến là do có ý giảm phân cực dòng trong SOA không bằng nhau bằng cách giảm dòng SOA2 và bù sự dịch pha tích cực dẫn đến chế độ hoạt động phân cực không cân bằng tại một điện áp offset  $V=7.6$  V. XNR là tỉ số tắt được dùng để tính thừa số alpha, tham số phù hợp duy nhất của các đường cong tính toán.

Sự cải tiến hướng về hai tỉ số tắt cao và cân bằng của chuyển mạch toàn quang, khi dẫn đến di chuyển từ phân cực chéo sang mode hoạt động phân cực không đồng pha được cho trong hình 8. Sự cải tiến là do có ý giảm phân cực dòng trong SOA không bằng nhau bằng cách giảm dòng SOA2 và bù sự dịch pha tích cực dẫn đến chế độ hoạt động phân cực không cân bằng tại một điện áp offset  $V=7.6$  V. XNR là tỉ số tắt được dùng để tính thừa số alpha, tham số phù hợp duy nhất của các đường cong tính toán.

Thí nghiệm thực hiện để kiểm tra các điều kiện tính toán vì điều kiện cho phép chính xác cao phép đo cao. Thí nghiệm thực hiện với  $P_{in,2}$  liên tục ghép qua thanh dẫn vào hai tỉ số sóng  $\lambda_{pin2}=1.58 \mu m$  với công suất tín hiệu -19dBm. Laser phân bố công suất

cao (DFB) cung cấp tín hiệu đầu khi nhập sóng  $1.554\mu m$ . Nó được ghép vào SOA qua MMIC 2x2. Công suất +36dBm, có trong si quang là cần thiết để cung cấp độ lệch pha  $\pi$ . Trong hình 8, chúng tôi biểu diễn các đặc tính của các trạng thái ngang ( $G_{\pm} = P_{\pm,2} / P_{in,2}$ ) và trạng thái chéo ( $G_x = P_{x,2} / P_{in,2}$ ) trong trạng thái không chuyển mạch và chuyển mạch khi tín hiệu đầu khi nhập vào ( $P_{C_{off}}$ ), công suất trong trạng thái chuyển mạch khi tín hiệu đầu khi nhập vào ( $P_{C_{on}}$ ). Trạng thái chuyển mạch “phân cực ngang” thể hiện bên phải của hình 8 thu được từ các SOA và các dòng phân cực ngược nhau  $I_{SOA1} = 190\text{mA}$  và  $I_{SOA2} = 182\text{mA}$ . Sự khác nhau trong các dòng phân cực là do sự không đồng nhất trong cấu trúc. Các trạng thái tiêu thụ này với  $G_{\pm}(P_{C_{off}})$  như hình vẽ, khi áp dụng chênh lệch pha offset 3V vào bộ lệch pha 1. Một tín hiệu chênh lệch âm trên trục x cho ra bộ lệch pha 1 góc  $\pi$  và một tín hiệu chênh lệch dương cho bộ lệch pha hai góc  $\pi$ .

Chúng ta quan sát trạng thái chéo  $G_x(P_{C_{on}})$  để tìm kiếm trạng thái tắt -7dB không thể mất tín hiệu trạng thái tắt -14dB như thế nào, khi giảm tín hiệu vào bộ lệch pha một và tăng tín hiệu vào bộ lệch pha hai, trong khi giảm một cách không đồng đều qua SOA2 cho  $G_{\pm}(P_{C_{off}})$  cố định. Khi áp dụng chênh lệch vào bộ lệch pha 2 trên 6V, các đặc tính của trạng thái ngang  $G_{\pm}(P_{C_{off}})$  và trạng thái chuyển mạch  $G_x(P_{C_{on}})$  giảm nhau và đặc tính của các trạng thái là 20dB. Trong trạng thái chuyển mạch phân cực không đồng nhất này, dòng SOA2 phải thiết lập là 160 mA.

Chúng tôi đã tính toán l i n h m t hàm c a pha c m ng trong các b d ch pha b ng cách dùng (4b), (11) và (12) và tìm c m t s phù h p tuy t v i v i các i m c o (xem các ng c v trong hình 8). Ch m t s không phù h p gi a các giá tr c tính toán và c o có th th y c trong tr ng thái off d i -20dB c a u ra ngang  $G_{\text{c}}$ . i v i các tín hi u u ra y u kho ng -41dBm (công su t tín hi u u vào là -19dBm và l i s i s i là -22dB), phát x t phát c khu ch i d n n nh ng óng góp không th b qua. so sánh các ng cong th c nghi m v i ng cong lý thuy t, chúng tôi ph i thi t l p m i quan h gi a các i n áp t vào v i s d ch pha  $\Delta\phi$  c c m ng trong các b d ch pha. B i vì i n áp c t vào các b d ch pha nh , chúng tôi có th n i suy các d ch pha c m ng v i thang i n áp [21]. áng chú ý r ng kh p t t c 4 ng cong chúng tôi ã dùng m t tham s kh p duy nh t, c th là th a s  $\alpha$  và ch m t i m quy chi u R (xem hình 8). i m quy chi u này là c n thi t b i vì s m t mát do ghép và c tính i n áp t vào d ch pha c m ng khác nhau i v i m i thi t b và ph i c xác nh b ng th c nghi m.

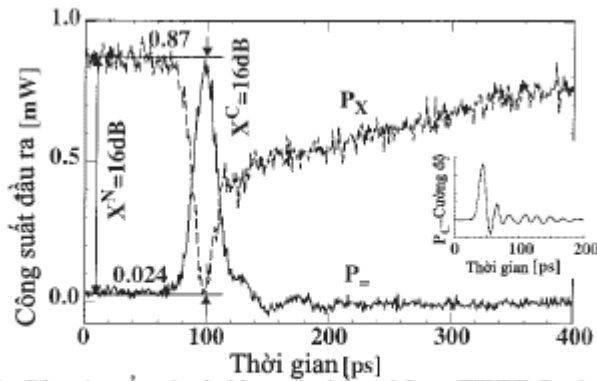
Th a s  $\alpha$  c rút ra t các ng cong o c nh sau. V m t th c nghi m, t s t t  $X^{N_R}$  (xem hình 8) c o t i m R, ây các ng cong c a hai tr ng thái t t chéo nhau, lên n tr ng thái  $G_X^N$  có th c xác nh v i s chính xác t t. T s t t  $X^{N_R}$  ho c nói cách khác  $X^N$  t i i m R c tính theo 13a. B i n duy nh t trong (13a) là th a s  $\alpha$ , cái mà chúng ta ang tìm và d ch pha  $\Delta\phi_{12}^I$  c c m ng b i s không i x ng c a dòng. Nh ng  $\Delta\phi_{12}^I$  c xác nh b i vì nó là s d ch pha dòng c m ng, ây hai ng cong c a các tr ng thái chuy n m ch ng t chéo. Nó c tìm b ng cách cho (5a)=(5b). Giá tr c a nó là:

$$\Delta\varphi_{12}^{I_R} = -\alpha \ln\left(\frac{2}{1+e^{-\pi/\alpha}}\right) \quad (25)$$

Phương trình (13a) và (25) cho phép tính toán tham số  $\alpha$  từ các thí nghiệm. Nó trở thành:

$$\alpha = -\pi \cdot \left\{ \ln \left[ \frac{2}{e^{2\alpha \tanh(\sqrt{1/X^{N_R}})} - 1} \right] \right\}^{-1} \quad (26)$$

Với  $X^{N_R} = 20.5\text{dB}$ , chúng ta thu được tham số  $\alpha = 7.4 \pm 0.5$ . Các thí nghiệm cho thấy kết quả như sau. Khi xung quang học ngắn, trong đó thời gian xung ngắn hơn vùng có thể quan trọng, tham số  $\alpha$  phù hợp thích nghi.



Hình 9. Các cửa sổ mở và đóng cân bằng 25 ps (FWHM) của chuyển mạch toàn quang SOA MZI phân cực không tương đương. Tỷ số tắt vượt quá 16 dB ở cả hai đầu ra ngang P- và chéo P<sub>x</sub> thu được bằng cách phân cực không tương đương.

Kết quả của thí nghiệm chuyển mạch với các xung quang học ngắn được biểu diễn trong hình 9. Chuyển mạch toàn quang phân cực không tương đương cho thấy hai xung quang học liên tục được ghép vào 2 SOA của chuyển mạch MZI SOA. Tín hiệu xung đầu tiên đi vào SOA1 chuyển mạch tín hiệu đầu tiên liên tục đầu ra chéo thành đầu ra ngang. Xung quang học thứ hai đi vào SOA2 với thời gian trễ hoãn 25ps thì tiếp tục chuyển mạch. Các cửa sổ cân bằng với các trạng thái ngang (P<sub>-</sub>) và chéo (P<sub>x</sub>) với khoảng thời gian xung 25ps thu được.

Tổng cộng các mức suy hao khoảng 16dB ở vị trí hai trạng thái ( $X^N$  và  $X^C$ ). Giá trị tổn hao 20dB là khó đạt được do nhiễu cao. Mục tiêu nhiễu là do sự mất cân bằng về các chế độ và mức độ sinh nhiệt khuếch đại dùng khuếch đại các tín hiệu đầu ra cùng cấp công suất cho photodiode. Ở vị trí các thí nghiệm này, chúng tôi đã dùng các xung điện áp khi nhiễu ở mức 3 và 4ps (FWHM), tốc độ lặp lại 114MHz và công suất nhiễu +22dBm có trong sợi quang. Công suất tín hiệu đầu vào  $P_{in}$  ở mức -2 dBm bù mất mát trong bộ lọc sóng và bộ cách ly cần cho thí nghiệm để các đầu ra. Đồ thị là sự giảm đi toàn phần của tín hiệu  $P_x$  ngay sau các chuyển mạch là do sự bão hòa trong các SOA. Sự bão hòa là 3.5 dB, phù hợp với giá trị ước tính trong hình 4 ở vị trí các bảng 7.4. Hình ảnh trong hình 9 cho thấy xung điện áp khi nhiễu. Các dao động phía sau xung là ringing photodiode. Tất cả các tín hiệu được biểu diễn trong hình 9 ở thời gian nhiễu photodiode nhanh (thời gian sinh 10ps) và mức máy nhiễu sóng lặp lại 50GHz.

## VI. Kết luận

Các chuyển mạch không gian toàn quang trong cấu hình MZI ở các bộ khuếch đại quang bán dẫn và các thiết bị lý tưởng có xu hướng. Chúng tôi đã nghiên cứu môi trường không nhiễu hoặc thậm chí cao là cần thiết để đạt được tốc độ cao. Các cấu hình chuyển mạch 1x2 và 2x2 được đưa vào. Các ước tính lý thuyết được xác nhận và phù hợp với thực nghiệm ở vị trí chuyển mạch sử dụng bộ tách chùm MZI nhiễu trong lõi dẫn sóng InP để tích hợp trên chip cho phép hoạt động với các SOA nhiễu và phân cực không đồng nhất. Trong khi hoạt động phân cực nhiễu của chuyển mạch toàn quang nhiễu ở mức tổn hao không cân bằng 13dB và 29dB, hoạt động không nhiễu cho phép tổn hao cân bằng 20dB. Ngoài suy luận lý thuyết được xác nhận thực

nghiệm cho thấy giá trị này có thể giảm đến 29dB ở vị trí hai trạng thái khi cùng một lúc các nguồn nhiễu bất kỳ.

Phần C

#### A. Các công thức theo trạng thái

Trạng thái chuyển mạch được định nghĩa là tập công suất giữa các tín hiệu chuyển mạch  $P_{on}$  và chuyển mạch tắt  $P_{off}$  trong cùng một thanh dẫn ra. Trong trường hợp chuyển mạch 2x2, chúng ta phân biệt giữa các trạng thái ngang  $O_{=}$  và chéo  $O_{x}$ . Ở vị trí tín hiệu  $i$  vào cổng  $i$  và  $j$ , với  $j=1,2$  chúng ta định nghĩa

$$O_{=,j} = \frac{P_{on}}{P_{off}} \Big|_{P_{=}} = \frac{P_{=,j} | P_{C on}}{P_{=,j} | P_{C off}}$$

$$O_{X,j} = \frac{P_{on}}{P_{off}} \Big|_{PX} = \frac{P_{X,j} | P_{C on}}{P_{X,j} | P_{C off}} \quad (A1)$$

Dùng định nghĩa về trạng thái và các hàm chuyển (11) và (12), ở vị trí tín hiệu đầu vào 1 (cao hơn) và tín hiệu đầu vào 2 (thấp hơn) chúng ta tìm được:

$$O_{=,1/2} = e^{-|\Delta\phi_{12}^C|/\alpha} \cdot \frac{\cosh^2[(2\Delta\phi_{12}^I/\alpha + 2\Delta\phi_{12}^C/\alpha \mp \ln r_A \mp \ln r_B)/4]}{\sinh^2[(2\Delta\phi_{12}^I/\alpha \mp \ln r_A \mp \ln r_B)/4]} \quad (A2)$$

$$O_{X,1/2} = e^{|\Delta\phi_{12}^C|/\alpha} \cdot \frac{\cosh^2[(2\Delta\phi_{12}^I/\alpha \mp \ln r_A \mp \ln r_B)/4]}{\sinh^2[(2\Delta\phi_{12}^I/\alpha + 2\Delta\phi_{12}^C/\alpha \mp \ln r_A \mp \ln r_B)/4]} \quad (A3)$$

Không có sự khác nhau trong việc chọn các tham số, không phụ thuộc vào vị trí chúng ta có thể hiểu hóa các trạng thái chuyển mạch tối thiểu là chúng ta tìm kiếm các trạng thái cao lý tưởng. Chẳng hạn, nếu cần cho các trạng thái chuyển mạch cao lý tưởng  $O_{=,j}$ , và nếu cần cho trạng thái cao lý tưởng  $X_j^N$  thì hiệu suất tín hiệu đầu ra ngang bị giảm khi không có tín hiệu đầu



khi n t vào  $P_{=,j}|_{P_{c,off}}=0$ . T ng t , i u ki n cho tr ng thái chéo b t - t t cao lý t ng  $O_{x,j}$  và i u ki n c a t s t t cao lý t ng  $X_j^C$  òi h i c hai  $P_{x,j}|_{P_{c,on}}=0$ .

Tuy nhiên, trong tr ng h p v i chuy n m ch toàn quang v i b tách chùm i x ng, nó t o ra s khác bi t ph thu c vào vi c chúng ta có òi h i r ng hai t s t t c a hai tr ng thái có b ng nhau không, ngh a là  $X^N = X^C$  hay là chúng ta òi h i r ng  $O_{=} = O_x$ . i u này d n chúng ta n vi c thi t l p các tham s ho t ng theo (15) nh ng i u ki n sau òi h i

$$\Delta\phi_{12}^I = \frac{\alpha}{2} \ln\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{(-2\pi)/\alpha}\right)$$

$$\Delta\phi = -\Delta\phi_{12}^I \tag{A4}$$

Trong thí nghi m hình 8, i m ho t ng c a t t m gi ng nhau i v i offset pha  $\Delta\phi = 71.4^0$  phù h p v i (A4). Giá tr này ph i c so sánh v i i m ho t ng c a các t s t t gi ng nhau c tìm th y t i offset d ch pha  $\Delta\phi = 90.0^0$ .

Các th a s  $\alpha$  có th c rút ra t (A3) m t khi ã o c  $O_x$ . Ch ng h n, t i i m ho t ng phân c c i x ng c a chuy n m ch MZI-SOA (xem hình 8), (A3) c n gi n thành:

$$\alpha = \frac{-\pi}{\ln(1 - \sqrt{4/O_x})}$$

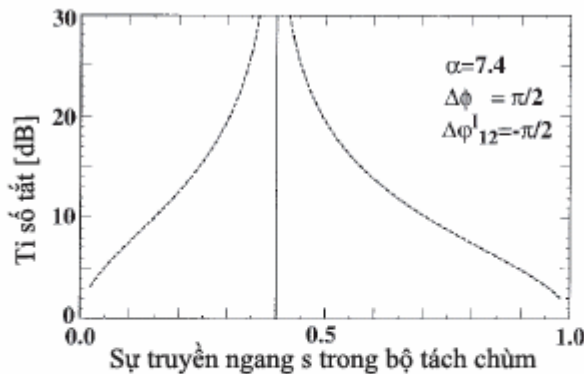
Nó cho m t t s t t m  $O_x$  b ng 15dB (tìm c trong th c nghi m c a hình 8) và th a s  $\alpha$  là 7.2. i u này phù h p t t v i giá tr 7.4 tìm th y trên.

**B. Thi t k dung sai c a các thành ph n không i x ng**

i v i vi c tìm i m ho t ng lý t ng c a chuy n m ch toàn quang MZI-SOA phân c c không t ng ng (lo i A), có th h u d ng bi t m i

quan hệ giữa các phân cực không đồng nhất của các SOA và các tham số. Sự phụ thuộc này có thể tính được dựa vào (13a) và (13b).

Các chuyển mạch toàn quang với một hoặc hai bộ tách chùm không đồng nhất (loại B1 và B2) sẽ gặp nhiều sai sót kỹ thuật. Phụ thuộc vào giá trị của  $\alpha$  của các SOA, sẽ không đồng nhất trong bộ ghép phân cực. Vì vậy, khi sai lệch kỹ thuật không đồng nhất như hiệu suất thiết bị với các tham số thu được, dung sai kỹ thuật cần quan tâm.



Hình 10. Tỷ số tắt đối với các tỷ số tách không đối xứng khác nhau của chuyển mạch toàn quang phân cực không cân bằng với một bộ tách chùm không đối xứng (Hình 6). Trục x cho sự truyền ngang của bộ tách chùm không đối xứng. Khi thừa số alpha được thiết lập là 7.4, sự dập tắt tối ưu thu được đối với bộ tách chùm 40: 60. Sự lệch so với 40%, hoặc giá trị truyền công suất ngang  $s=0.4$  dẫn đến sự mất mát hiệu suất, như được biểu diễn trong hình.

Hình 10 các dung sai kỹ thuật với bộ ghép không đồng nhất trong chuyển mạch toàn quang (loại B1) với một bộ tách chùm không đồng nhất (xem hình 6). Chúng tôi sẽ vẽ các tham số kỹ thuật thành hàm theo sự truyền ngang  $S_B$  của bộ tách chùm không đồng nhất với (13a) và (13b). Tham số  $\alpha$  kỹ thuật là 7.4. Các truyền ngang thích hợp cho các tham số lý tưởng nằm ở 0.40. Sự chênh lệch so với các giá trị này dẫn đến suy giảm hiệu suất thiết bị.

Xét cấu hình với hai bộ tách chùm không đồng nhất, nhìn thoáng qua chúng ta thấy rằng dung sai kỹ thuật sẽ nhỏ hơn nếu vị trí của các tham số

tách, bởi vì vị trí sai trong các bước không xảy ra đến mức mất mát năng lượng. Tuy nhiên quan niệm này là sai. Khi tia tới chính xác không tới C, vẫn còn có thể phân cực không đồng đều SOA và cân bằng bên ngoài các bước không xảy ra trong các tia tới các hai trạng thái. Khi xem xét tia tới do thêm vào này, chúng tôi thấy rằng chuyển mạch toàn quang 1x2 với mức độ hai bước tách chùm không xảy ra là tùy thuộc vào hình dạng của tia tới chính xác. Vì lý do này, hình 10 cho thấy các tia tới có thể tới C và chuyển mạch toàn quang với hai bước tách chùm không xảy ra như một hàm theo hình học truyền ngang s. Trong trường hợp chuyển mạch toàn quang với hai bước tách chùm không xảy ra, nghĩa là phi tỉ lệ  $p = 1 - s_A = s_B$  cũng như

biểu thức (19a) và (19b), nó đòi hỏi sự thay đổi vị trí của các tia tới. Kết quả này có thể hiểu với các biểu thức tích phân rút ra. Chuyển mạch toàn quang 1x2 với hai tia tới, chúng ta cần tích hợp 2 trong 3 số bất biến của tia tới có  $(r_A, r_B, \Delta\phi_{12}')$ . Do đó, vị trí sai nhỏ nhất của bước tách chùm không xảy ra là sự thay đổi vị trí bất biến theo, chúng ta cần biết các số liệu nào để tia tới tách không xảy ra và các SOA phân cực không đồng đều. Vì vậy các tia tới, nó không tạo ra sự khác biệt cho dù tia tới tác động không xảy ra trong bước tách chùm hoặc phân cực không đồng đều các dòng SOA, bởi vì về mặt toán học chúng ta cần quy tắc gì trong biểu thức tia tới (13a) - (13b). Vị trí sai số bất biến mức độ trong hai bước tách chùm luôn luôn có thể bù bằng cách thay đổi phân cực không đồng đều các dòng SOA.

Các dung sai thiết kế của chuyển mạch toàn quang với hai cặp SOA có thể là  $\alpha$  khác nhau (loại C) là khá thoải mái. Từ (24), nghĩa là có thể rút ra rằng hai

thanh diện vào vật lý thì là có thể tính, ngay khi nghĩ  
ta có hai bán kính khác nhau. Không cần phải tìm hai vật liệu  
xác định giá trị  $\alpha$  chính xác. Tuy nhiên,  $r$  là hằng số có một số  
tính chất trong  $\alpha$ , bởi vì nó là một đặc tính của  
tính chất vật lý khi nó thay đổi hoàn toàn.