

# 광 네트워크에의 응용을 위한 RSFQ 2x2 Switch 회로의 설계

홍희송, \*정구락, \*박종혁, \*임해웅, 강준희, \*한택상  
인천대학교, \*한국광기술원

## Circuit Design of an RSFQ 2x2 Crossbar Switch for Optical Network Switch Applications

H. S. Hong, \*K. R. Jung, \*J. H. Park, \*H. R. Lim, J. H. Kang, \*T. S. Hahn  
University of Incheon, Incheon, Korea  
\* Korea Photonics Technology Institute, Gwangju, Korea

physics@incheon.ac.kr

**Abstract** In this Work, we have studied about an RSFQ 2x2 crossbar switch. The circuit was designed, simulated, and laid out for mask fabrication. The switch cell was composed of a splitter, a confluence buffer, and a switch core. An RSFQ 2x2 crossbar switch was composed of 4 switch cells, a switch control input to select the cross and bar, data input, and data outputs. When a pulse was input to the switch control input to select the cross or bar the route of the input data was determined, and the data was output at the proper output port. We simulated and optimized the switch element circuit and 2x2 crossbar switch, by using Xic and Julia. We also performed the mask layout of the circuit by using Xic and Lmeter.

### 1. 서 론

#### 차세대의 핵심기술 스위치

빠른 스위칭 속도와 더불어 전력 소모가 적은 특성을 가지는 초전도 디지털 소자는 반도체의 한계가 드러나는 시점에서 대안으로 주목받고 있으며, 많은 정보를 사용하는 현대사회에서 광 네트워크 분야의 스위치와 라우터 역할은 데이터의 전송처리 능력을 향상시키기 위해서 그 비중이 커져가고 있다. 일반적으로 데이터의 전송을 지연하는 요인 중에 하나가 스위치의 스위칭 속도이며, 많은 데이터를 효과적으로 처리하기 위해서 RSFQ 소자[1]를 이용한 스위치와 라우터의 개발이 활발히 진행되고 있다.

그림 1은 SFQ 소자를 이용한 optical switch의 개략도[2]를 나타낸 것이다. 광섬유를 통하여 들어온 광 신호를 Photo Detector를 사용하여 전기신호로 변환하고, 변환된 전기신호를 SFQ switch로 보낸다. SFQ switch에서 신호의 경로를 결정한 후, 전기적 신호를 Laser diode에 입력

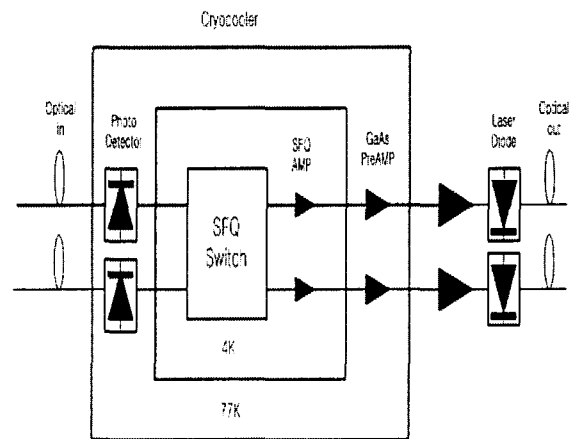


Fig.1. Simplified block diagram of an optical switch.

하여 광 신호로 변환 후 광섬유를 통하여 원하는 곳으로 전송하게 된다. 이때 SFQ switch에서 출력되는 신호는 Laser diode를 구동할 만큼 충분치 않기 때문에 SFQ switch에서 나온신호를 일차적으로 SFQ AMP로 증폭하고, 그런 다음에 GaAs PreAMP로 재 증폭하여 Laser Diode로 보내지게 된다.

본 연구에서는 광네트워크 분야에 응용될 수 있는 스위치를 개발하기 위해 단자속양자 2x2 crossbar switch를 구성하고 시뮬레이션 하였다. RSFQ 2x2 crossbar switch는 모두 4개의 switch cell로 이루어져 있으며, switch cell은 splitter, confluence buffer, switch core로 구성되어 있다. 이 crossbar switch 중에서 가장 핵심적인 부분은 switch core 부분으로서 본 연구에서는 먼저 switch core 한 개에 대한 시뮬레이션과 Layout을 하였으며, switch cell 4개를 조합하여 2x2 crossbar switch를 구성하고 시뮬레이션 하였다. 사용된 소프트웨어로는 CAD 프로그램인 Xic과 회로 시뮬레이션 프로그램인 Julia를 사용하였으며, 인덕턴스 추출 프로

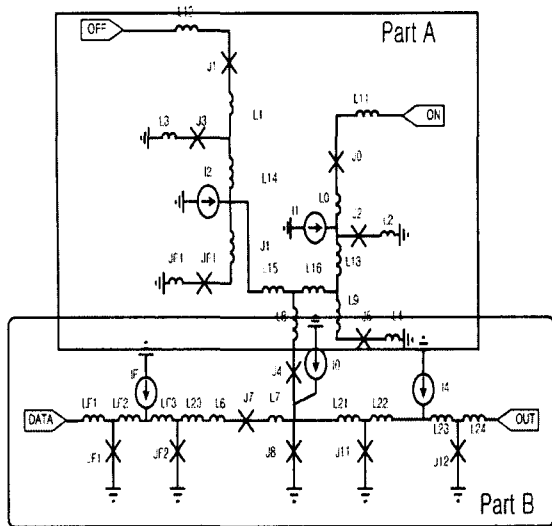


Fig. 2. Schematics circuit diagram of an SFQ switch core

그림인 Lmeter를 사용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 switch cell

2x2 crossbar switch의 switch cell은 splitter와 confluence buffer 및 핵심코어 회로인 switch core로 구성된다.

그림 2는 SFQ switch core의 구성도를 나타낸다. Part A부분의 On port에서 입력된 펄스는 Part B에 포함되어 있는 J4를 통하여 흐르게 된다. J4에 흐르는 전류는 J8 접합에 바이어스 역할을 하여 DATA part에 입력된 펄스가 J8을 스위칭 시키고 OUT port로 펄스를 출력하게 된다. OFF Port로 들어온 펄스는 흐르는 J4로 흘러 J4에 저장된 단자속 양자를 소멸시키게 되며 이 때 J4에는 전류가 흐르지 않게 된다. 결국 DATA port에 입력된 결국 들어온 데이터는 OUT port으로 출력되지 않는다.

그림 3은 SFQ switch core의 시뮬레이션 결과이다. On port에 입력된 펄스로 Data에 입력된 펄스는 On port에 입력된 펄스에 의해서 OUT port로 출력되며, Off port에 입력된 펄스에 의해서 출력되지 않는다. 따라서 On, Off port에 입력된 펄스에 의해 DATA에 입력된 신호를 제어하며 switch로서 역할을 하게 된다.

그림 4는 SFQ switch의 Layout을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 Lmeter를 사용하여 layout 상태에서의 인덕턴스의 값을 추출하였다.

Layout은 초전도선의 선폭과 길이를 조절하여 최적화시켰으며, 인덕턴스의 값과 Lmeter로 계산된 인덕턴스의 값을 일치하도록 하였다.

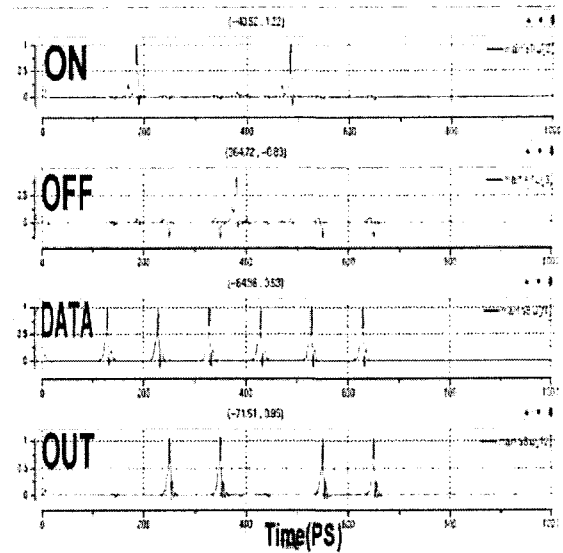


Fig. 3. Simulation results of SFQ switch core.

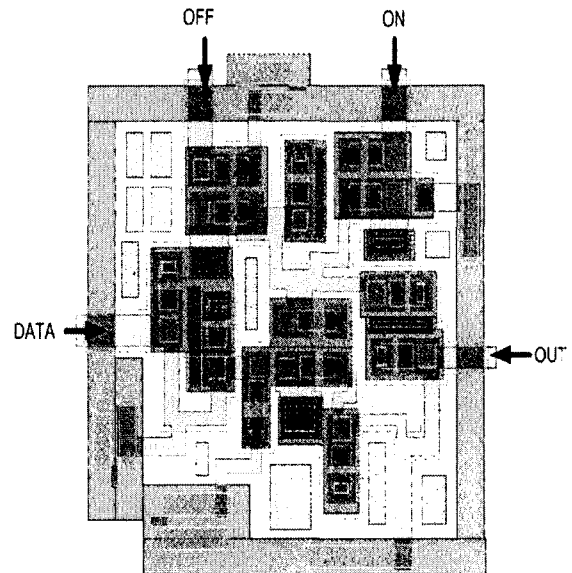


Fig.4. Mask layout of the switch core.

### 2.2 RSFQ 2x2 crossbar switch

2x2 crossbar switch는 네 개의 switch cell로 구성된다. 그림 5는 SFQ switch cell을 나타낸 것이다. 네 개의 switch cell은 각각 splitter와 confluence buffer, switch core로 구성되어 있으며, on port와 off port, data port와 out port로 구성되어 입력된 데이터를 out port쪽으로 출력할 수 있게 하였다.

Splitter는 두 개의 switch core에 데이터를 입력하기 위하여 사용하였으며, confluence buffer는 두 개의 데이터 중 하나의 데이터만 나가도록 하기 위하여 사용하였다.

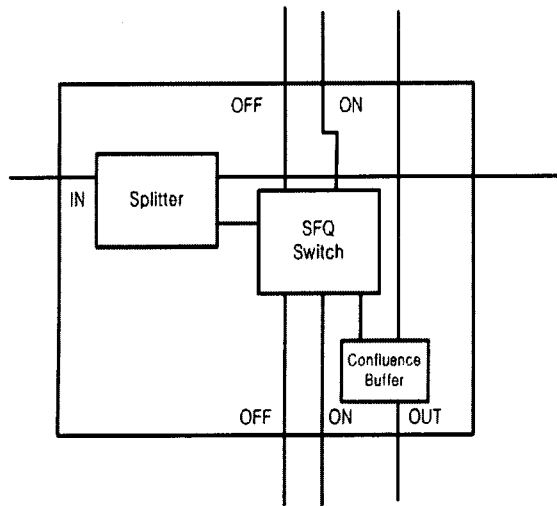


Fig.5. Block diagram of the switch cell.

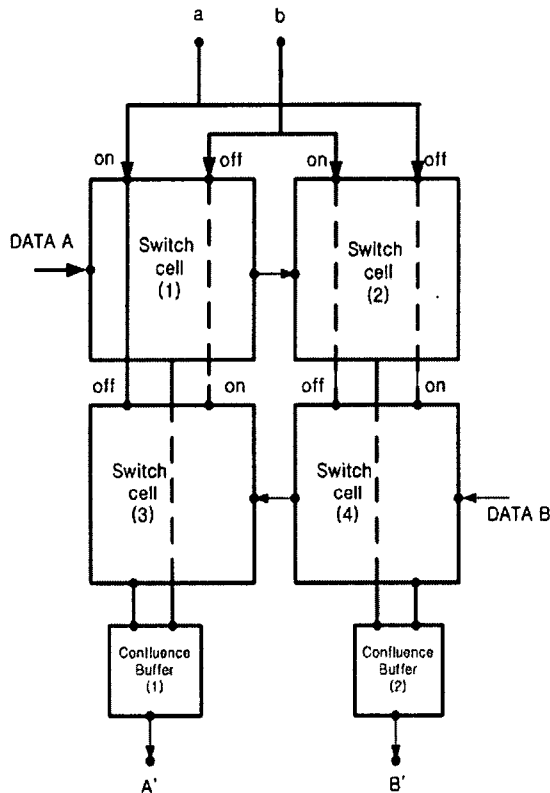


Fig.6. Block diagram of a 2x2 crossbar switch.

그림 6은 2x2 crossbar switch의 구성도를 나타낸다. a에 입력된 펄스는 들어온 Data A, Data B 펄스가 출력부분의 A'과 B' 중 어느 쪽으로 출력될지를 결정하게 된다. a에 펄스가 입력되면 switch cell(1)의 on port와 switch cell(2)에 off port에 펄스가 입력되게 된다. 이 때 DATA A에서 입력된 펄스는 confluence buffer(1)을 통해서 A'로 출력된다. DATA B

에 입력된 펄스는 switch cell(2)로부터 들어온 펄스에 의해 on port로 들어오게 되며, confluence buffer(2)을 통해서 B'로 출력하게 된다. 결국 DATA A는 A'로 DATA B는 B'로 입력된 펄스를 출력하게 된다.

b에 펄스가 들어가면 switch cell(2)에 on port로 펄스가 들어가며 switch cell(1)에 off port로 펄스가 입력된다. 이 때 DATA A로부터 입력된 펄스는 switch splitter를 통해서 cell(2)쪽으로 입력하게 되며 이 펄스는 confluence buffer(2)을 통해서 B'로 출력된다. DATA B에 입력된 펄스는 splitter를 통하여 switch cell(3)쪽으로 입력하게 되며, 이 펄스는 confluence buffer(1)을 통해서 A'로 출력하게 된다. 결국 DATA A는 B'로 DATA B는 A'로 입력된 펄스를 출력하게 한다.

Table.1은 제어부의 a, b에 입력된 펄스에 따라서 입력된 DATA A, Data B가 출력부분인 A', B'으로 나가는 경로를 나타낸 것이다.

그림 7은 2x2 crossbar switch 회로에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 첫 번째 라인은 clock a부분이고 두 번째는 clock b부분이다. 첫 번째 clock a부분에 펄스가 입력되면 입력된 DATA A(No1)의 펄스는 A'(No5)로 출력하게 되며, 입력된 B(No3)의 펄스는 B'(No7)로 출력하게 된다. 이 때 clock b에서 들어온 펄스는 다시 A(No2)의 펄스를 B'(No8)로 출력하게 하고 입력된 B(No4) 펄스는 A'(No6)로 출력하게 한다. 그림 7의 결과는 제어하는 a, b에 의해 A에서 A'로 B에서 B'로 가는 bar형태의 출력과 A에서 B'로 B에서 A'로 가는 cross형태의 출력을 제어하는 2x2 crossbar switch의 역할을 하고 있음을 보여주고 있다. 그림 7에서 보여주고 있는 시뮬레이션 결과는 DATA 펄스의 주파수 대역이 10 GHz로서, 본 연구에서 설계된 2x2 crossbar switch는 10GHz의 이상의 대역에서 잘 작동함을 알 수 있었고, 스위치의 스위칭 time도 수 백 picosecond 이하로 작동할 수 있음을 알 수 있었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 많은 데이터를 처리하고 전송하기 위한 단자속 양자 2x2 crossbar switch의 시뮬레이션을 수행하였다.

회로를 구성하기 위해서 시뮬레이션 툴인 Xic을 사용하였으며 회로의 최적화기능을 가진 시뮬레이션 툴인 Julia를 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 2x2 crossbar switch의 핵심인 switch core 부분의 layout을 위해서 인덕턴스를 추출하기 위해 Lmeter도 함께 사용하였다.

설계된 회로의 시뮬레이션을 통하여 네 개의 switch 중 두 개의 스위치를 On상태로 만들어서 bar형태의 출력 펄스를 생성할 수 있었으며,

Table.1. Switch states depending on the control signals a and b.

control		data path	state
a	b		
1	0	$A \rightarrow A'$ $B \rightarrow B'$	bar
0	1	$A \rightarrow B'$ $B \rightarrow A'$	cross

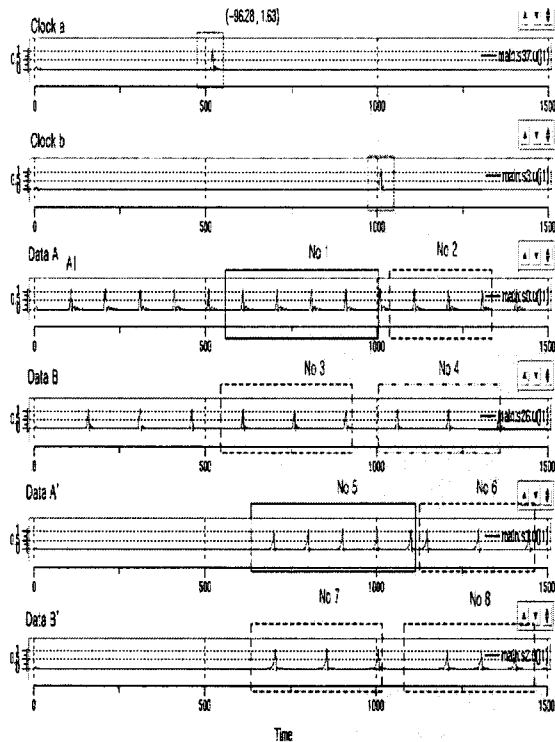


Fig.7. Simulation results of the 2×2 crossbar switch circuit.

또한 다른 두 개의 스위치를 On상태로 만들어서 cross형태의 출력 펄스를 생성할 수 있었다. 시뮬레이션 프로그램인 Julia를 사용하여 시뮬레이션 결과를 확인하였으며 2×2 crossbar switch로 잘 작동됨을 알 수 있었다.

2×2 crossbar switch는 네 개의 switch cell로 구성되어 있으며, 그러므로 여러 개의 switch cell을 연결한다면 4×4 crossbar switch 또는 128×128 crossbar switch 그 이상으로 확장할 수 있다.

구성된 회로는 펄스 사이의 delay time을 감안하여 10GHz에서 작동하도록 설계하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] K. K. Likarev and V. K. semenov, "RSFQ Logic/Memory Family: A new Josephson-Junction Technology for Sub-Terahertz Clock-Frequency Digital Systems", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 1, 3-28, 1991
- [2] N.b. Dubash, P.F. Yuh and V.V. Borzents, "SFQ Data Communication Switch", IEEE Trans. Appl. Supercond., 7, 2681-2684, 1997
- [3] Dmitry Y. Zinoviev, "High-speed rapid single flux quantum(RSFQ) Batcher-banyan switching core", SPIE vol 2917, 380-386
- [4] Qing Ke; Dalrymple, B.J.; Durand, D.J.; Spargo, J.W, "Single flux quantum crossbar switch", IEEE Trans. Appl Supercond., 7, 2968-2971, 1997
- [5] Dmitry Y. Zinoviev and Konstantin K. Likharev, "Feasibility Study of RSFQ-based Self Routing Nonblocking Digital Switches", IEEE Trans, vol7, 3155-3163, 1997

본 연구는 21세기 프린터 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.