

단자속 양자 1-bit ALU의 5GHz 측정

정구란, 홍희송, 박종혁, 임해용, *강준희, 한택상
한국광기술원, *인천대

5 GHz test of a SFQ 1-bit ALU

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

krjung@kopti.re.kr

Abstract - we have designed, fabricated, and tested an RSFQ(Rapid Single Flux Quantum) 1-bit ALU (Arithmetic Logic Unit). The 1-bit ALU was composed of a half adder and three SFQ DC switches. Three DC switches were attached to the two output ports of an ALU for the selection of each function from the available functions that were AND, OR, XOR and ADD. And we also attached two DC switches at the input ports of the half adder so that the input data were controlled using the function generators operating at low speed while we tested the circuit at high speed. The test bandwidth was from 1kHz to 5 GHz. The chip was tested at the liquid helium temperature of 4.2 K.

1. 서 론

초전도 디지털 소자[1]의 빠른 스위칭 속도 [2]에도 불구하고 소자의 출력은 0.1 mV ~ 0.2 mV로 미세하기 때문에, 이런 미세 신호를 측정하기 위해서는 1 MHz 이하의 낮은 대역폭을 갖는 오실로스코프를 이용하여 측정을 하여야 한다. 만약 수 백 MHz 나 수 GHz 대역에서 측정을 할 때에는 초전도 디지털 소자에 단자속 양자 증폭기[3]를 연결하여야 하며, 단자속 양자 증폭기를 연결하지 않고 높은 대역폭의 신호를 측정하려고 하면 오실로스코프에 포획되는 노이즈가 소자에서 출력되는 신호보다 더 크기 때문에 측정이 불가능해지게 된다.

본 연구에서는 1-bit ALU (Arithmetic Logic Unit) 회로[4]를 300 kHz대역의 오실로스코프를 사용하여 5GHz에서의 회로의 작동을 측정 하였다. 고속 측정을 하기 위해서 1-bit ALU의 입력 port에 DC 스위치를 연결하였으며, 이를 function generator를 이용하여 control 하면서 측정을 하였으며, 칩의 측정온도는 액체 헬륨온도(4.2 K)로 하였다.

2. 본 론

그림 1은 Half Adder와 DC 스위치만을 가지고 AND, OR, XOR, ADD의 기능을 가지는 ALU를 구성하고, 두 개의 입력 port에 DC switch를 삽입하여 단자속 양자 1-bit ALU 고속 측정을 할 수 있는 block diagram을 보여 주고 있다. 그림 1에서 보여주는 바와 같이 a, b의 스위치가 ON 상태에 있으면 OR, b만 ON 상태에 있으면 AND, a와 c가 ON 상태에 있으면 ADD 그리고 a만 ON 상태에 있으면 XOR의 기능을 수행한다.

본 연구에서는 a, b, c의 DC 스위치는 current source를 이용하여 직접 ON, OFF 상태를 조절하였으며, 데이터 입력 port의 두 DC 스위치는 그림 2와 같은 회로를 구성하여 바이어스 전류를 공급하여 주었다. 그림 2에서 function generator에서 출력되는 전류의 값이 크기 때문에 1 kΩ의 저항을 연결하여 DC 스위치에 공급되는 전류 값을 감소 시켰으며, 1Ω의 저항을 연결하여 scope를 이용하여 DC 스위치에 공급되는 전류의 값을 모니터링 할 수 있도록 하였다.

그림 3은 단자속 양자소자의 측정장비들을 보여주고 있다. 단자속 양자소자를 측정하기 위해서는 16채널 current source, 24 핀 or 40 핀

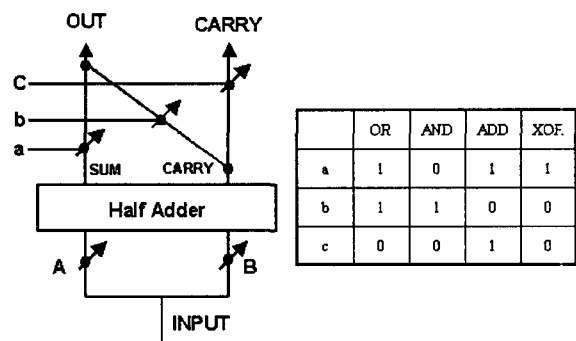


Fig.1. Block diagram for the high speed tests of the 1-bit RSFQ ALU.

저온 probe, 3대 이상의 function generator 그리고 1 MHz 이하의 대역폭을 갖으면서 채널

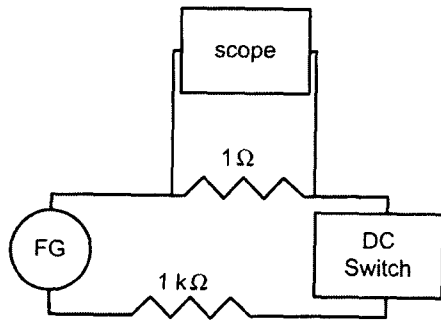


Fig. 2. Block diagram of control box that supply current in DC switch using function generator.

수가 4 채널 이상인 오실로스코프가 필요하다. 그 중에서 저온 probe는 가장 중요한 부분 중의 하나이며, 그림 4의 저온 probe는 40 pin probe로서 단자속 양자 소자의 바이어스나 시그

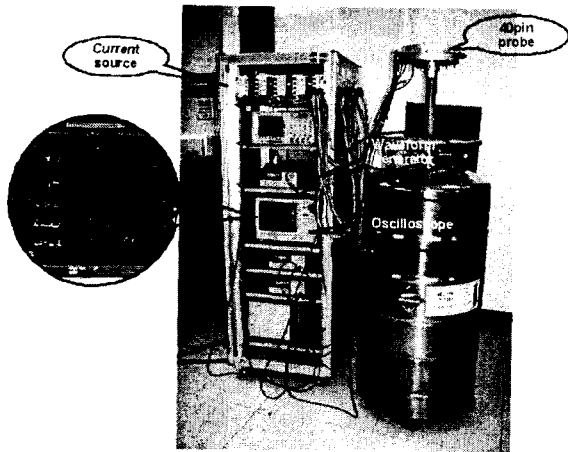


Fig.3. Equipments for the RSFQ device tests.

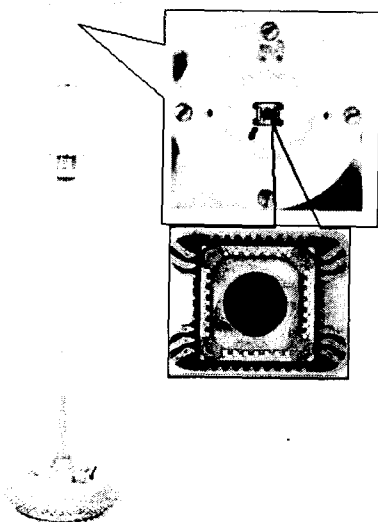
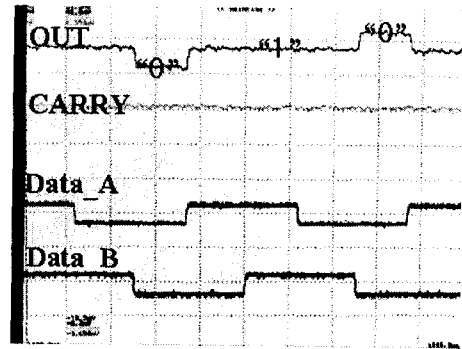
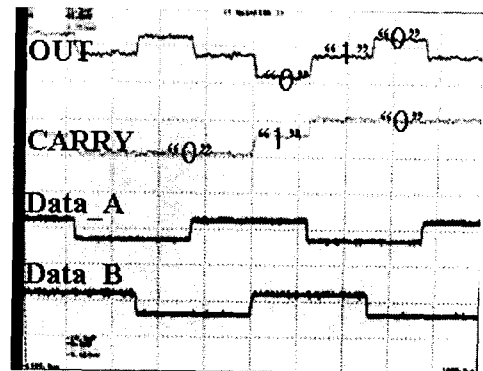


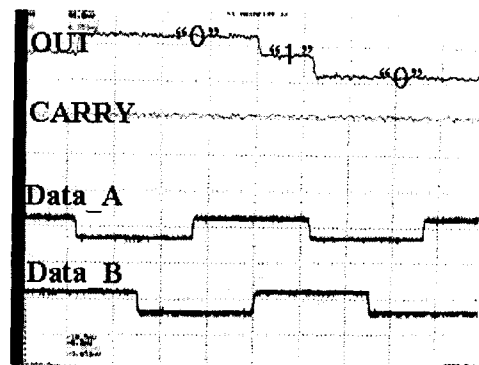
Fig.4. 40pin high speed cryo-probe.



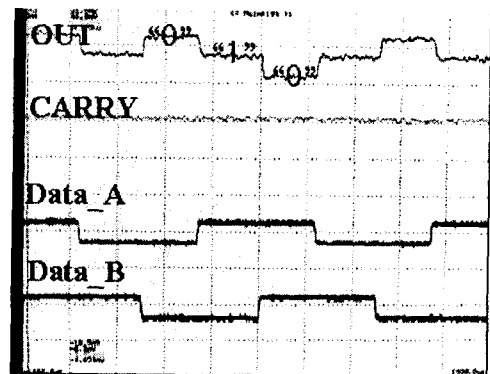
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.5. Test results of 1 bit ALU at 5GHz.

(a) OR (b) ADD (c) AND (d) XOR

널 입·출력 부분을 40개까지 연결가능하며, probe의 pin과 칩의 pad가 자동으로 align이 이루어 질 수 있도록 설계되어 있고, 장착할 수 있는 칩의 사이즈는 5mm x 5mm 칩이다.

그림 5는 1-bit ALU의 5GHz 대역에서 측정된 결과를 보여주고 있다. 5GHz 대역의 측정은 그림 1의 INPUT 부분에 5GHz의 신호를 입력 시켜 주고서, A와 B의 스위치를 그림 2와 같이 구성한 후, 그림 5의 Data_A와 Data_B와 같이 전류를 공급하여 주었다. Data_A가 "1"의 상태에서는 1-bit ALU의 port A에 5GHz의 신호가 입력되고, Data_A가 "0"의 상태에서는 ALU의 A port에 신호가 입력되지 않는다. 이와 마찬가지로 Data_B가 "1"의 상태에서는 ALU의 port B에 5GHz의 신호가 입력되지만, Data_B가 "0"의 상태에서는 ALU의 B port에 신호가 입력되지 않는다. 단자속 양자소자의 출력 부분에는 SFQ/DC 회로가 연결되어 있으며, 이 SFQ/DC 회로는 하나의 신호가 들어올 때 toggle을 일으키고, 그 다음 신호가 들어올 때 다시 toggle을 일으키는 회로이다. 만약 대역폭이 수백 kHz인 오실로스코프에 수 백 MHz이상의 신호가 연속적으로 SFQ/DC 회로에 입력되면, 수백 kHz 주파수 대역의 오실로스코프는 그의 중간 값을 나타내게 된다. 그리고 SFQ/DC 회로는 더 이상 데이터가 들어오지 않는다고 하면 처음 상태를 계속 유지하게 된다. 그림 5의 (b)를 살펴보면, 스위치 a와 c가 ON 상태에 있고, 스위치 B는 OFF 상태에 있으므로, 1-bit ALU는 ADD의 기능을 하게 된다. Data_A와 Data_B가 "1"인 상태에서는 ALU의 port A와 port B에 모두 5GHz의 신호가 입력되므로, CARRY에만 출력 값을 가지고 SUM 부분에는 출력 값은 가지지 않게 된다. 그러므로 CARRY는 0.5의 값을 가지게 되고 OUT은 0이나 1의 값을 가지게 된다. 그리고 Data_A나 Data_B중의 어느 하나만 "1"의 상태이면, OUT부분에만 출력 값을 가지게 되어 OUT은 0.5가 되고 CARRY는 0 혹은 1이 된다. 그림 5의 (a)OR, (b)ADD, (c)AND, (d)XOR의 테스트 결과는 본 연구에서 사용된 1-bit ALU가 5 GHz에서도 잘 동작함을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 단자속 양자 1-bit ALU 회로의 고속 측정회로를 구성하였으며, 제작된 칩을 5 GHz 주파수 대역에서 동작 측정을 하였다. 입력 port의 DC 스위치는 저항을 사용한 측정 box를 구성하여 function generator와 함께 사용하여 control하였으며, 출력 port에 연결되어 있는 DC 스위치는 직접 바이어스 전류를 공급하여 주어 ON, OFF의 선택을 하였다. 본 연구에 사용된 1-bit ALU 회로는 Half Adder와 DC 스위치를 이용하여 구성하였으며, 구성된 ALU회로는 OR, ADD, AND, XOR의 기능을 가지고 있고, 설계하여 제작된 회로는 5 GHz의 주파수 대역에서 잘 동작함을 알 수 있었다.

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

(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., 1, 3-28, 1991.
- [2] W. Chen, A.V. Rlyakov, Vijay Patel, J.E. Lukens, K. K. Likharev, "Superconductor digital frequency divider operating up to 750GHz", Appl. Physics Letters, 73, 2817-2819, 1998.
- [3] T. Morooka, K. Tanaka, K. Chinoue, "High-Current Resolution Broad-band SQUID Amplifier Suitable for TES Calorimeter", IEEE Trans. Appl. Supercond., 12, 1866-1871, 2002.
- [4] J.H. Kang, A. Kirichenko, K.R. Jung, J.Y. Kim, J.H.Park, T.S. Hahn, "Design of RSFQ 1-bit ALU based on Half Adder cell", ISEC 2003, PMo20, 2003.