

65nm CMOS 스위칭-증폭기를 이용한 60GHz 능동위상변화기 설계

A 60GHz Active Phase Shifter with 65nm CMOS Switching-Amplifiers

최 승 호*, 이 국 주*, 최 정 환**, 김 문 일**

Seung-Ho Choi*, Kook Joo Lee*, Jung Han Choi**, Moonil Kim**

Abstract

A 60GHz active phase shifter with 65nm CMOS is presented by replacing passive switches in switched-line type phase shifter with active ones. Active-switch phase shifter is composed of active-switch blocks and passive delay network blocks. The active-switch phase shifter design is compact compare with the conventional vector-sum phase shifter. Active-switch blocks are designed to accomplish required input and output impedances whose requirements are different whether the switch is on or off. And passive delay network blocks are composed of lumped L,C instead of normal microstrip line to reduce the size of the circuit. An 1-bit phase shifter is fabricated by TSMC 65nm CMOS technology and measurement results present -4dB average insertion loss and 120 degree phase shift at 65GHz.

요 약

기존의 수동 스위치를 사용한 스위치-라인 타입 위상변화기의 수동 스위치를 스위칭 증폭기로 대체한 60GHz CMOS 능동위상변화기를 소개하였다. 능동스위치 위상변화기는 능동스위치 블록과 수동 딜레이 네트워크 블록 구성되며, 기존의 vector-sum 위상변화기와 비교해 간단한 회로 구성이 가능하다. 능동스위치 블록은 On-Off state에 따라 다르게 요구되는 입출력 저항을 고려하여 설계하였고, 수동 딜레이 네트워크 블록은 회로의 크기를 최소화하기 위하여 일반적인 microstrip line 대신 lumped 인덕터와 커패시터를 사용하여 구성하였다. TSMC 65nm CMOS 공정을 이용하여 1-bit 위상변화기를 제작 및 측정 하였으며, 그 결과 65GHz에서 평균 -4.0dB 의 삽입손실과 120도의 위상차를 얻었다.

Key words : Phase Shifter, 65nm CMOS, Active Switch, Switched-line

I. 서론

최근 60GHz의 주파수 대역을 사용한 근거리 개인통신 시스템(WPAN: Wireless Personal Area Network)

용 송수신기에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 60GHz의 주파수 대역은 수 GHz의 광대역 주파수를 사용해 대용량 데이터 전송이 가능할 뿐만 아니라 파장이 밀리미터 단위로 매우 짧기 때문에 안테나 및 송수신기 회로의 소형, 경량화가 가능한 장점이 있다. 기존의 밀리미터파 대역의 회로는 주로 III-V족 화합물 반도체 공정이 사용되어 왔으나, CMOS공정과 비교해서 제작비용이 높고, 집적도가 떨어지며, 신뢰성이 낮은 단점이 있다. 최근 Si 기반 공정 기술의 발전으로 CMOS 소자의 동작속도가 지속적으로 향상되고 있으며, 60GHz 대역의 주파수에서 동작 가능성을 보이고 있다 [1].

60GHz 근거리 무선 통신용 송수신 시스템에서는 제

* 高麗大學校 電子電氣工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Korea University)

** 三星電子株式會社 DMC研究所

(Digital Media & Communications Research Center, Samsung Electronics)

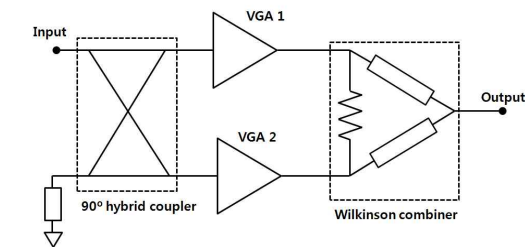
★ 교신저자 (Corresponding author)

接受日:2010年 9月 3日, 修正完了日: 2010年 9月 29日

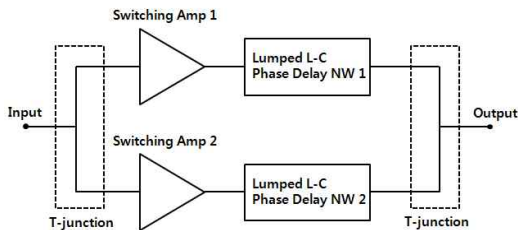
한된 출력과위로 효율적인 통신을 위해서 위상배열 안테나를 사용한 빔-포밍 기법을 채택하고 있다. 빔-포밍용 안테나 시스템에서는 개별 안테나에 전달되는 신호의 위상을 조절하기 위한 위상변화기를 필요로 한다. 가장 간단한 형태의 위상변화기는 수동 스위치 소자와 delay 라인을 사용한 switched-line 형태의 위상변화기이다. Switched-line 위상변화기는 병렬로 연결되면서 서로 다른 위상을 갖는 두개의 라인 중 한개의 path를 스위치를 사용해 선택하는 방법으로 동작한다. 60GHz의 고주파 대역에서는 CMOS 스위치 자체에서 큰 손실손실이 발생해 switched-line 형태의 위상변화기 사용이 어렵다. 이와 같은 손실을 개선하기 위한 방법으로 능동소자를 사용한 vector-sum 형태의 위상변화기에 대한 연구가 진행되고 있다 [2, 3]. 본 논문에서는 새로운 형태의 능동스위치 위상변화기를 설계하였으며, 기존의 Vector-sum 위상변화기와 비교해서 간단한 회로 구성을 갖는다.

II. 능동스위치 위상변화기 설계

제안하는 능동스위치 위상변화기는 Switched-line 형태의 위상변화기에서 수동 스위치소자 대신 능동 스위칭 소자를 사용하는 것으로, 그림 1(b)와 같이 구성된다. 능동 스위칭 소자는 CMOS 증폭기로 구성되며, 바이어스 상태에 따라서 on/off의 두 가지 상태로 동작을 선택하게 된다. 연속적인 위상변화를 얻을 수 있는 vector-sum 위상변화기와는 달리 discrete한 위상변화만을 얻을 수 있는 단점이 있다. 하지만, 실제 60GHz 송수신기에서는 90도 간격의 위상변화를 얻을 수 있는 2-bit 위상변화기만으로도 시스템 구성이 가능하다 [4]. 본 논문에서는 90도 위상변화를 갖는 1-bit 위상변화기를 설계하였으며, 동일한 방법의 180도 위상변화기와 cascade로 연결할 경우 2-bit 위상변화기 설계가 가능하다.



(a)



(b)

Fig. 1. Conventional vector-sum type active phase shifter (a) and the proposed active switch phase shifter (b).

그림 1. 기존의 Vector-sum 형태의 능동 위상변화기 구조 (a)와 제안하는 능동스위치 형태의 위상변화기 구조 (b).

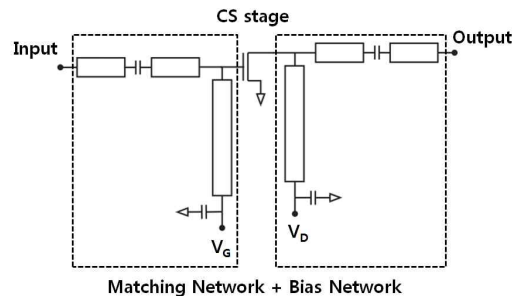


Fig. 2. Switching amplifier with common source topology. 그림 2. Common source 형태로 구성된 스위칭 증폭기 구조.

능동스위치 위상변화기의 가장 기본소자인 스위칭 증폭기는 그림 2와 같이 구성된다. TSMC 65nm CMOS 소자를 사용했으며, 소자의 크기는 2um x 32 finger이다. CMOS 증폭기에서 일반적으로 사용되는 common source 바이어스를 사용했다. 기본 CS stage의 입력 및 출력단에 마이크로 스트립라인을 사용해 매칭회로를 구성했으며, 회로의 크기 감소를 위해서 바이어스 회로를 마이크로스트립 병렬 매칭 네트워크로 사용했다. 최종 위상변화기 회로에서 개별 스위칭 증폭기에는 각기 다른 바이어스가 인가되기 때문에 스위칭 증폭기의 입출력단에 각각 바이패스용 커패시터를 추가하였다. Vector-sum 위상변화기는 각 증폭기에 인가되는 신호가 90도의 위상차를 가져야하기 때문에 앞단에 hybrid coupler가 사용되지만, 제안하는 능동스위치 위상변화기는 개별 스위칭 증폭기에 동일한 위상의 신호가 전달되므로 간단한 T-junction 회로를 사용해 두 개의 증폭기 결합이 가능하다. 각 path에서의 위상차는 증폭기 출력단에 연결된

phase delay 회로에 의해서 결정된다. 출력단의 delay 회로는 회로 크기를 줄이기 위해서 인덕터와 캐패시터를 조합해 설계했다. 두 개의 path 중 첫 번째 path에서는 한 개의 직렬 인덕터를 사용해 45도 delay를 얻었으며, 또 다른 path에서는 두 개의 직렬 캐패시터와 한 개의 병렬 인덕터를 사용해 135도 delay를 갖도록 설계했다. 각 path를 결합시 추가 delay가 발생하지 않도록 각 L-C 회로는 동일한 길이로 설계되었다. 180도의 위상변화를 얻기 위해서 45도와 135도의 위상을 사용한 것은 출력단에서 open에 근접한 임피던스를 갖도록 하기 위해서이다. 능동스위치 위상변화기는 두 개의 path중 한 개의 path만 선택해 사용하며, 사용하지 않는 회로의 출력단이 open에 근접한 임피던스를 갖기 때문에 복잡한 Wilkinson combiner를 사용하지 않고 간단한 T-junction 회로를 사용하는 것이 가능하다. 그림 3은 최종 설계된 1-bit 능동스위치 위상변화기의 레이아웃으로, 웨이퍼 상태에서 프로브팁을 사용해 측정하기 위해서 입출력단에 GSG프로브용 패드와 바이어스단에 DC 패드를 추가했다.

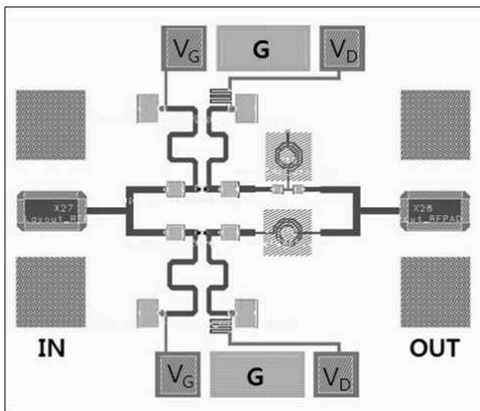


Fig. 3. 1-bit active switch phase shifter layout
 그림 3. 스위치 위상변화기를 사용해 설계한 1-bit 능동 위상변화기의 레이아웃

III. 측정결과

제작된 능동스위치 위상변화기 회로는 프로브스테이션과 네트워크 애널리저를 사용해 10MHz에서 67GHz까지 S-parameter를 측정하였다. 스위칭 증폭기의 DC 바이어스 조건은 각 path와 on/off 상태에 따라 다른 전압을 사용했다. 45도 delay를 갖는 path1의 증폭기는 on 상태에서 0.5V 게이트 전압, 0.6V 드레인 전압과 off 상태에서 0V 게이트 전압, 1.0V 드레인 전압을 사용했고, 135도 delay를 갖는

path2의 증폭기는 on 상태에서 0.65V 게이트 전압, 1.4V 드레인 전압과 off 상태에서 0.2V 게이트 전압, 0V 드레인 전압을 사용했다. 측정 결과는 그림 4와 같이 path1은 67GHz에서 최대 -2.2dB, path2는 최대 -5.2dB 삽입손실을 나타냈으며, 65GHz에서 평균 -4.0dB 삽입손실과 120도의 위상변화를 보였다. 최초 설계한 90도보다 더 큰 위상변화를 나타내는 것은 short-stub로 가정하고 설계한 바이어스 네트워크에서 parasitic성분에 의해서 delay가 추가된 것이 원인이다. 그림 4의 시뮬레이션 결과는 최초 시뮬레이션에서 DC 바이어스 패드에 300fH 직렬인덕터를 추가해 교정 시뮬레이션으로 측정과 동일한 경향성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

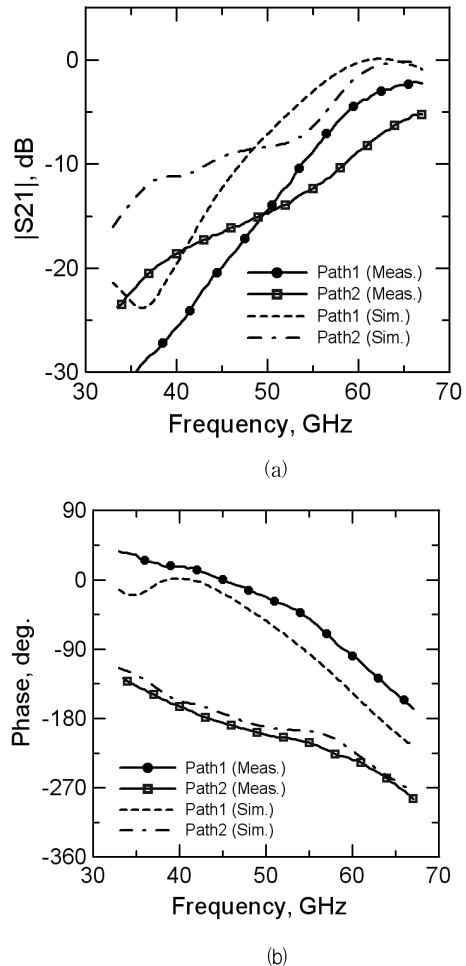


Fig. 4. Measured gain (a) and phase (b) of 1-bit active switch phase shifter.

그림 4. 1-bit 능동 위상변화기의 이득 (a)과 위상변화 (b) 측정 결과.

IV. 결론

기존의 수동소자를 사용한 switched-line 형태의 위상변화기에서 발생하는 손실을 개선하기 위해 능동스위치 위상변화기를 설계했다. 능동 위상변화기에 주로 사용되는 vector-sum 위상변화기는 연속적인 위상변화가 가능한 반면, 본 논문의 능동스위치 위상변화기는 90도 위상차의 1-bit 위상변화만 가능하지만 간단한 회로 구성이 가능한 장점이 있다. TSMC 65nm CMOS 공정을 사용해 제작한 능동 위상변화기의 S-parameter 측정결과 65GHz에서 평균 -4dB의 삽입손실과 120도의 위상변화를 보였다.

참고문헌

[1] D. Dawn et al., "60GHz CMOS Power Amplifier with 20-dB-Gain and 12dBm Psat," *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 537-540, 2008.

[2] A. Natarajan, A. Komijani, X. Guan, A. Badakhani, and A. Hajimiri, "A 77-GHz Phased-Array Transceiver With On-Chip Antennas in Silicon: Transmitter and Local LO-Path Phase Shifting," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 41, no. 21, pp. 2807-2819, Dec. 2006.

[3] P.-S. Wu et al., "A 40-74 GHz Amplitude/Phase Control MMIC using 90-nm CMOS Technology," *Proc. Eur. Microw. Integr. Circuit Conf.*, Oct. 2007, pp. 115-118.

[4] E. Cohen, C. Jakobson, S. Ravid, and D. Ritter, "A bidirectional TX/RX four element phased-array at 60GHz with RF-IF conversion block in 90nm CMOS process," *Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, 2009.

저 자 소 개

최 승 호 (비회원)



2010년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업 (공학사)
 2010년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (석박사통합과정)
 <주관심분야> CMOS 위상변화기 설계

이 국 주 (비회원)



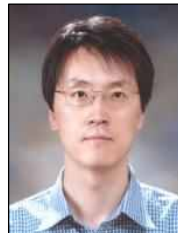
2005년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업 (공학사)
 2008년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (박사과정)
 <주관심분야> 적층기판용 어레이 안테나 설계

최 정 환 (비회원)



1999년 : 서강대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년 : 서강대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2004년 : 독일 뮌헨공과대학교 (공학박사)
 2005년 4월 - 2008년 7월 : 삼성종합기술원
 2008년 7월 ~ 현재 : 삼성전자 Digital Media & Communication 연구소
 <주관심분야> 밀리미터파 소자 및 회로, RF nanotechnology

김 문 일 (비회원)



1987년 : 일리노이 공대 전기공학과 졸업 (공학사)
 1992년 : 캘리포니아 공대 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)
 2000년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학과 교수
 <주관심분야> 빔-포밍용 어레이 안테나 시스템