패키지된 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 설계 및 제작

장 우 진, 형 창 희, 이 희 태, 이 경 호, 송 민 규
한국전자통신연구원 화합물반도체연구부
전화 : 042-860-1270 / Fax : 042-860-6183

Design and Implementation of a Ku-band Packaged 5-bit Phase Shifter

Woo-Jin Chang, Chang-Hee Hyoung, Hee-Tae Lee, Kyung-Ho Lee, and Min-Kyu Song
Compound Semiconductor Dept., ETRI
E-mail : wjchang@etri.re.kr

Abstract

This paper introduces the design and implementation of a Ku-band 5-bit monolithic phase shifter with a ceramic package. The 5-bit phase shifter MMIC was designed and fabricated by using GaAs MESFET switches. The packaged phase shifter demonstrates a phase error less than 11.3° RMS and an insertion loss variation less than 1.0dB RMS for 13~15GHz. For all 32 states, an insertion loss is measured to be 12.2±2.2dB, an input return loss more than 5.0dB, and an output return loss more than 6.2dB from 13GHz to 15GHz. The chip size of the 5-bit phase shifter MMIC is 2.35× 1.65mm^2 including digital control circuits. The size of the ceramic packaged phase shifter is 7.2× 6.2mm^2.

I. 서론

위상변위기는 위상배열(Phase Array) 능동안테나(Active Antenna) 시스템의 중요한 부품 중의 하나로서, 능동안테나 시스템을 이동체에 탑재하여 이동 및 지역에 관계없이 정보의 송수신이 가능하도록 신호를 추적하는 기능을 수행한다. 이상적인 디지털 위상변위기는 동작주파수에서 일정한 상대위상(Relative Phase)을 가지며 위상변위기에 의한 삽입손실 변화가 작은 것이다.

II. 위상변위기 설계 및 제작

2.1 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 MMIC 설계

13GHz~15GHz대의 5-비트 위상변위기 MMIC 설계에 사용한 구조는 GaAs MESFET을 스위칭 소자로 사용한 T-구조와 Pi-구조이며, 원하는 상대위상을 얻기 위하여 저역/고역 통과필터로 동작하도록 하였다.[1],[2] 즉, GaAs MESFET의 입출력 단자는 각각 소오스와 드레인으로 하고 스위칭을 위한 바이어스는 게이트에 인가하여 입력 단자와 출력 단자 사이를 On 또는 Off시킨다. 이때 MESFET이 On이 되면 소오스와 드레인 사이는 매우 작은 직렬 저항으로 간략화하여 모델링할 수 있고, Off가 되면 소오스와 드레인 사이는 커패시터와 매우 큰 병렬 저항으로 모델링할 수 있다.[3] 그리고, MESFET을 On/Off하기 위한 게이트 바이어스는 +0.7V/-3.8V로 하였다. 그리고, 마이크로스트립라인, MIM(Metal-Insulator-Metal) 커패시터, Implant저항과 NiCr 저항을 사용하였으며, 특히 NiCr 저항은 위상변위기의 삽입손실 변화를 감소시키는 보상저항으로 사용하였다.[4] 위상변위기의 최소 상대위상 간격은 11.25°로 하여 0°부터 360°까지 변하도록 11.25°, 22.5°, 45°, 90°, 180° 위상변위기로 구성되는 RF부를 설계하여 5-비트 위상변위기를 제작하였다. 그리고, 위상변위기의 RF부의 각 비트를 동작시키기 위해 5개의 D-플립플롭으로 이루어진 디지털부를 RF부와 함께 한 개의 MMIC 칩에 제작하였다. D-플립플롭을 동작하기 위한 바이어스는 +5V와 -5V이며, 출력 전압은 +0.7V와 -3.8V로 RF부를 동작시키도록

하였다. 그림1은 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기의 회로도이며 11.25°, 22.5°, 45°, 90°, 180° 위상변위기를 차례로 배치하여 설계하였다.

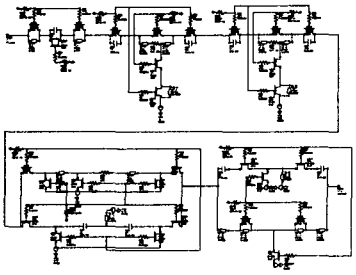


그림1. 설계한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 회로도

2.2 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 MMIC 제작

그림2는 TriQuint의 TQTRx foundry를 이용하여 제작한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 MMIC의 사진이며 칩의 크기는 2.35×1.65mm^{2}이다.

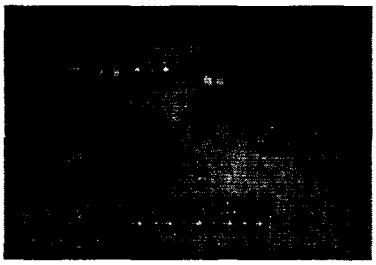


그림2. 제작한 5-비트 위상변위기 MMIC 사진

2.3 패키지된 위상변위기 제작

그림3은 세라믹 패키지하여 완성한 위상변위기의 사진이다.

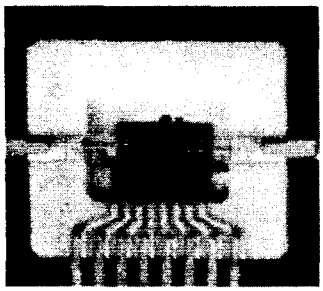


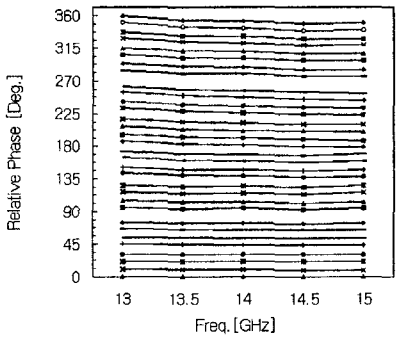
그림3. 패키지하여 완성한 위상변위기 사진

패키지는 세라믹으로 제작하였으며 후면은 접지 처리를 위하여 금도금한 금속이며, 칩과 패키지의 부착은 AuSn을 사용하였고 RF부의 입출력 단자에는 3-mil 리본 본딩하여 본딩 와이어에 의한 인덕턴스를 감소시켰고 디지털부의 바이어스 및 각 비트 조절 단자에는 3-mil 볼본딩하였다. 패키지하여 완성한 Ku-밴드 5-비트 위상변위기의 크기는 7.2×6.2mm^{2}이다

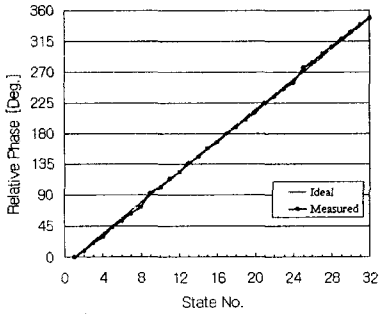
III. 제작한 위상변위기 측정결과

3.1 위상변위기 MMIC 측정결과

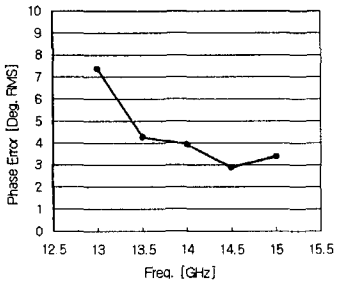
그림4는 제작한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 MMIC의 상대위상을 on-wafer에서 측정결과로서 13GHz~15GHz에서 32개 상태에 대해 나타낸 것이다. 그림4(b)는 위상변위기의 32개 상태에 대한 상대위상을 14.5GHz에서 이상적인 상대위상과 비교한 것으로 거의 일치하여 나타남을 알 수 있다. 그림4(c)는 위상오차를 주파수에 대해 나타낸것으로 13GHz에서 7.5° RMS로 나타나며, 14.5GHz에서 2.9° RMS로 가장 작은 오차를 보여준다.



(a) 상대위상



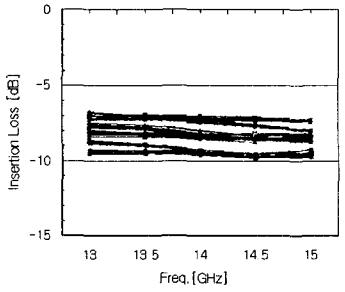
(b)14.5GHz에서의 상대위상



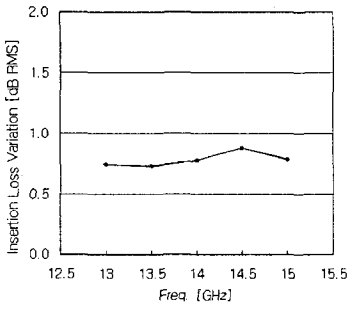
(c) 위상오차

그림4. 제작한 위상변위기 MMIC의 상대위상 측정결과

그림5는 제작한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기의 삽입손실을 측정한 것으로서, 삽입손실은 8.2±1.4dB의 성능을 보여주며 삽입손실 변화는 0.9dB RMS이하로 측정되었다.



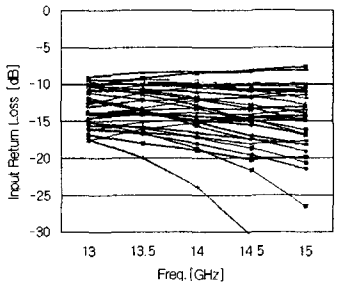
(a) 삽입손실



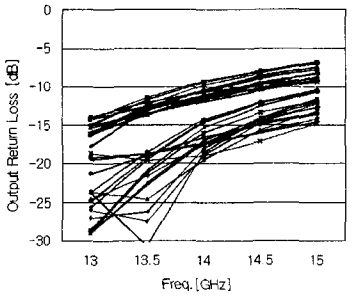
(b) 삽입손실 변화

그림5. 제작한 위상변위기 MMIC 삽입손실 측정결과

그림6은 제작한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기 MMIC의 32개 상태에 대한 입출력 반사손실을 측정한 것으로서, 입력반사손실은 13GHz~15GHz에서 7.7dB 이상으로 측정되었고, 출력반사손실은 6.8dB이상으로 측정되었다.



(a) 입력반사손실

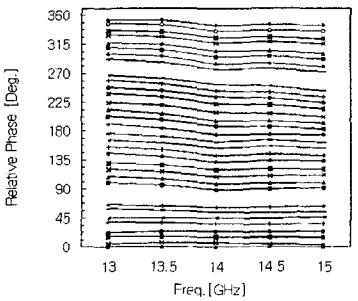


(b) 출력반사손실

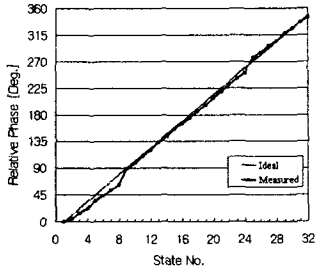
그림6. 위상변위기의 입출력 반사손실 측정결과

3.2 패키지된 위상변위기 측정결과

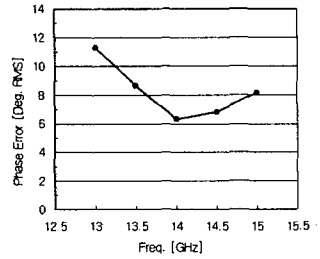
그림7은 패키지한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기의 상대위상 측정결과이다. 그림7(c)는 위상오차를 주파수에 대해 나타낸 것으로, 14.5GHz에서 6.8° RMS로 on-wafer측정보다 3.9° RMS가 약간의 특성저하를 보여주지만 좋은 특성의 상대위상을 갖는다.



(a) 상대위상

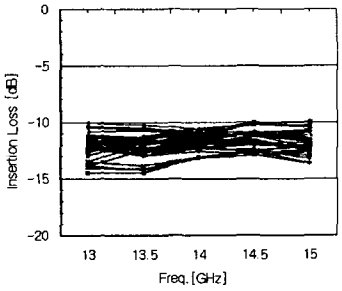


(b)14.5GHz에서의 상대위상

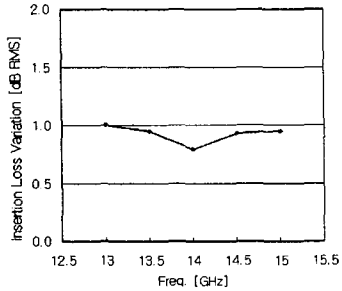


(c) 위상오차

그림7. 패키지한 위상변위기의 상대위상 측정결과



(a) 삽입손실



(b) 삽입손실 변화

그림8. 패키지한 위상변위기의 삽입손실 측정결과

그림8은 패키지한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기의 삽입손실을 측정한 것으로서, 삽입손실은 12.2±2.2dB의 성능을 보여주며 삽입손실 변화는 1.0dB RMS이하로 측정되었다. 패키지하여 재작한 Ku-밴드용 5-비트 위상변위기의 32개 상태에 대한 입력 반사손실은 13GHz~15GHz에서 5.0dB이상으로 측정되었고, 출력 반사손실은 6.2dB이상으로 측정되었다.

IV. 결론

본 논문에서 제작한 위상변위기는 11.25°, 22.5°, 45°, 90°, 180° 위상변위기의 RF부와 5개의 플립플롭으로 이루어진 디지털부로 구성되어 있다. 제작한 위상변위기 MMIC의 칩 크기는 2.35×1.65mm^{2}이며, 패키지한 위상변위기의 크기는 7.2×6.2mm^{2}이다. 13GHz~15GHz에서 위상오차는 11.3° RMS보다 작게 나타났고, 삽입손실은 12.2±2.2dB이며 삽입손실 변화는 1.0dB RMS이하로 측정되어 매우 우수한 특성을 보여준다.

본 논문에서 개발한 패키지된 Ku-밴드용 5-비트 우상변위기는 작은 삽입손실 변화와 우수한 성능의 상대위상을 요구하는 Ku-밴드용 능동안테나 시스템에 적용할 수 있다.

참고문헌

[1] M .J. Schindler et al., "A 3 Bit K/Ka Band MMIC Phase Shifter", IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 95-98, 1988.

[2] Robert V. Garver, "Broad-Band Diode Phase Shifters", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 20, No. 5, pp.314-323, 1972.

[3] Yacin Ayasli et al., "Wide-Band Monolithic Phase Shifter", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 32, No. 12, pp. 1710-1714, 1984.

[4] 장우진 et al., "삽입손실 변화가 작은 위상변위기 MMIC 설계 및 제작", 한국통신학회 하계학술대회 논문집, pp. 1342-1345, 2000.