

60 GHz 대역 4×4 기판 집적 도파관(SIW) 슬롯 안테나 설계

서덕진, 정재웅, 유종인*

*한국전자기술연구원 ICT디바이스·패키징연구센터

usetooltip@keti.re.kr, wow212@keti.re.kr, *aceryu@keti.re.kr

Design of 60 GHz 4×4 Substrate Integrated Waveguide(SIW) Slot Antenna

Deokjin Seo, Jae-Woong Jung, Jongin Ryu*

ICT Device and Package Research Center, Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 60 GHz 대역에서 동작하는 4×4 기판 집적 도파관(SIW) 슬롯 배열 안테나를 설계하고 시뮬레이션을 통해 특성을 확인하였다. 제안된 안테나는 인가된 신호가 microstrip을 통해 SIW 슬롯 배열 안테나에 전달되는 구조이며, microstrip과 SIW 슬롯 안테나의 임피던스 매칭을 통해 반사되는 손실이 없이 슬롯 안테나에서 에너지가 외부로 방사될 수 있게 설계하였다. 설계한 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나의 사이즈는 5.75 mm × 12.91 mm이며, gain 15.90 dBi와 sidelobe level -12.10 dB의 특성을 확인하였다.

I. 서론

최근 mmwave 대역에서는 금속 도파관, 유전체 도파관 등 3차원 구조 전송선로와 microstrip, coplanar waveguide with ground(CPWG) 등 개방형 스트립 전송선로가 대부분 사용되었다. 폐쇄구조의 금속 도파관은 저손실, 고효율 전달특성과 완전한 차폐의 장점을 가지고 있어, 레이더 시스템 및 위성용 송수신 시스템 등에 제한적으로 사용되고 있다. 하지만, 금속 도파관은 무게와 부피가 매우 크며, 정밀한 제작으로 인해 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다. 또한, 평면형 회로와 결합을 위해 별도의 transition 구조가 필요하여 대량 수요 산업화에서 본질적 한계를 갖고 있다. 그리고 개방형 스트립 전송선로는 가볍고 단조로운 구조를 가지며, 평면형 회로와 연결성이 용이하고 제작 단가가 낮다는 장점을 가지고 있다. 하지만 주파수가 증가함에 따라 급격히 증가하는 전자파 누설특성, 낮은 차폐 특성, 상대적으로 높은 손실의 단점을 갖는다[1]. 반면에 기판 집적 도파관(SIW) 전송선로는 금속 도파관의 장점을 가지면서 평면형 전송선로와의 연결성이 용이하다. 또한, 제작 단가가 낮아 대량생산 등이 가능하여 개방형 스트립 전송선로의 장점들이 그대로 유지될 수 있다[2].

본 논문에서는 60 GHz에서 동작하는 SIW 구조를 활용한 4×1 슬롯 배열 안테나를 디자인하였으며, 설계한 4×1 슬롯 배열 안테나를 자유공간 내 파장의 절반 간격으로 배열하여 4×4 슬롯 배열 안테나를 디자인하였다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 60 GHz 대역 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나를 구성하는 4×1 슬롯 배열 안테나의 구조는 그림 (1)과 같으며, 사용한 기판은 Taconic 사의 TLY-5A(유전율 : 2.17, 유전손실 : 0.0009)이며 기판 높이는 5 mil이다. Port 1로 급전된 에너지는 50 Ω microstrip을 통해 SIW 슬롯 배열 안테나로 전달되어 4개의 방사 슬롯을 통해 외부로 방사되는 구조이다. 4×1 슬롯 배열 안테나의 top view는 그림 (2)와 같으며 방사 슬롯의

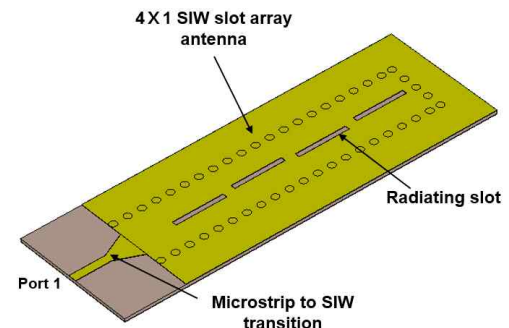


그림 (1). 제안한 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나 구성

폭(W_s)은 식 (1)을 통해 초기 설정값을 얻었으며, 시뮬레이션을 통해 최적화하였다. 방사 슬롯 간의 간격(d_s)은 $\lambda_0/2$ mm이며, λ_0 는 자유공간 내 파장 길이이다. 또한, 마지막 슬롯의 중심부터 SIW의 종단까지의 거리(T_s)는 $\lambda_{siw}/4$ mm이며, λ_{siw} 는 SIW 내의 파장 길이이다. SIW 중심에서 슬롯까지의 거리인 offset은 Stevenson 공식[3]에 정규화된 컨덕턴스를 대입하여 얻은 값을 시뮬레이션 툴에 적용하여 최적화하였다. 그리고 tapered line의 폭(W_T)을 조절하여 microstrip과 SIW 슬롯 배열 안테나 간의 임피던스 매칭을 진행하였다.

그림 (3)은 W_T 에 따른 4×1 슬롯 배열 안테나의 S11 시뮬레이션 결과이

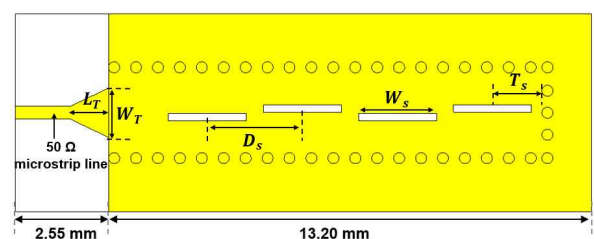


그림 (2). 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나 top view

$$W_s = \frac{\lambda_0}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \quad (1)$$

며, W_T 가 0.5 mm일 때, 목표주파수인 60 GHz에서 S11이 -31.44 dB로 가장 최적의 값을 도출하였다.

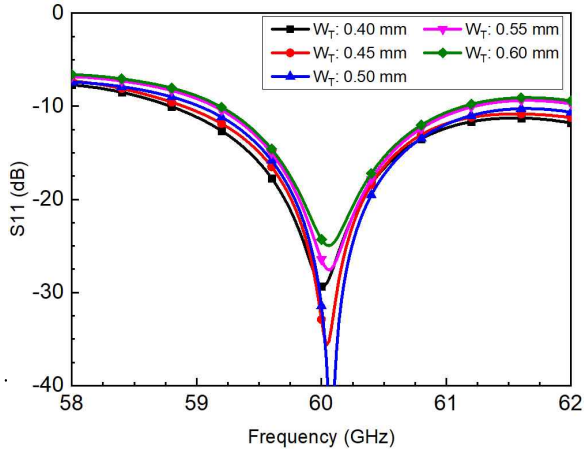


그림 (3). W_T 에 따른 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나 S11 시뮬레이션 결과

그림 (4)는 4×1 슬롯 배열 안테나의 방사 패턴 시뮬레이션 결과이다. 설계한 4×1 슬롯 배열 안테나는 gain 10.17 dBi, beamwidth 27.0 deg와 sidelobe level -13.3 dB의 방사 특성을 가진다.

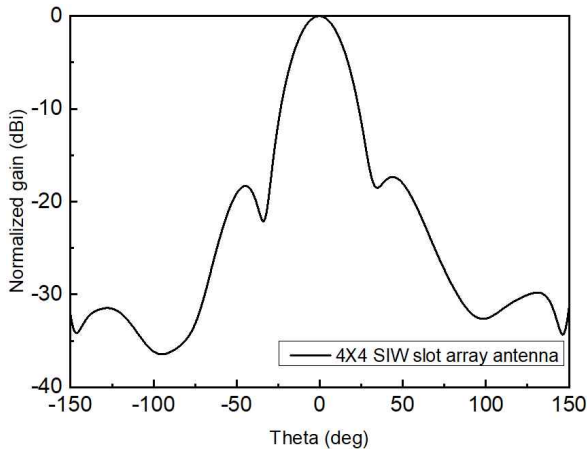


그림 (4). 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나 방사 패턴 시뮬레이션 결과

설계한 4×1 슬롯 배열 안테나를 $\lambda_0/2$ 간격으로 parallel 배열하여 4×4 슬롯 배열 안테나를 모델링한 모습은 그림 (4)와 같으며, 전체 시스템의 사이즈는 15.75 mm \times 12.91 mm이다.

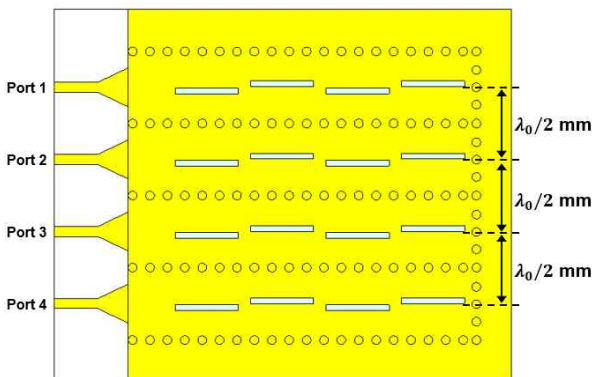


그림 (5). 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나 top view

Port 1~4에 동일한 amplitude의 RF 신호를 인가하여 시뮬레이션하였을 때, 방사 패턴 시뮬레이션 결과는 그림 (5)와 같다. 설계한 4×4 슬롯 배열 안테나는 gain 15.90 dBi와 sidelobe level -12.10 dB의 방사 특성을 가진다.

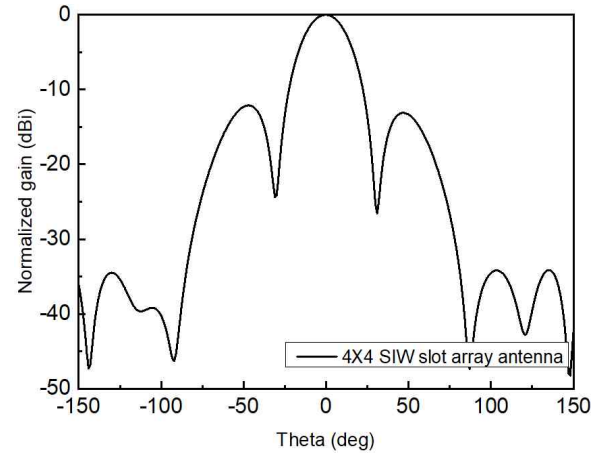


그림 (3). 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나 방사 패턴 시뮬레이션 결과

III. 결론

본 논문에서는 SIW 구조를 활용한 60 GHz 대역 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 50 Ω microstrip을 통해 인가된 신호가 SIW 슬롯 배열 안테나에 전달되며, microstrip과 SIW 사이의 tapered line의 폭을 조절하여 임피던스 매칭을 진행하였다. 디자인한 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나의 S11은 -31.44 dB이며, 안테나 gain은 10.17 dBi의 특성을 가진다. 4×1 SIW 슬롯 배열 안테나를 parallel 배열한 4×4 SIW 슬롯 배열 안테나는 gain 15.90 dBi와 sidelobe level -12.10 dB의 특성을 확인하였다. 안테나를 배열하면서 발생하는 sidelobe는 추후 Taylor, Dolph-chebyshev distribution을 활용한 weighting 기법을 적용하여 개선할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 행정안전부 “IoT 기술을 활용한 재난안전 취약계층 안전사고 예방 기술·제품 개발(RS-2022-00155639)”의 지원을 받아 작성되었음

참 고 문 헌

- [1] R. A. Pucel, D. J. Masse, and C. P. Hartwig, “Losses in microstrip”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT- 16, no. 6, pp. 342-350
- [2] H. Y. Lee, “High Efficiency Active Phased Array Antenna Based on Substrate Integrated Waveguide”, The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 26(3), 227-247
- [3] F. Qingyuan, S. Lizhong and J. Ming, “Design and simulation of a waveguide slot antenna,” Proceedings of 2012 5th Global Symposium on Millimeter-Waves, 2012, pp. 131-134