

77 GHz 대역 차량용 레이더의 프론트 엔드 모듈 설계

Design of 77-GHz Automotive Radar Frontend Modules

박 상 욱 · 권 만 석 · 감 동 군

Sangwook Park · Manseok Kwon · Dong Gun Kam

요 약

본 논문은 와이어 본드와 도파관 전이 구조, 인쇄 회로 기판의 77 GHz 인터커넥트를 포함한 차량용 레이더의 프론트 엔드 모듈 설계를 제시한다.

Abstract

This paper describes a design of an automotive radar frontend module with taking care of the routing of 77-GHz signals on a printed circuit board including wire-bond and waveguide transitions.

Key words: 77-GHz Radar Frontend Module, Computer-Aided Optimization, Impedance Matching, Signal Integrity, Waveguide Transition

I. 서 론

77 GHz 차량용 레이더 시스템은 주행 안전에 핵심적인 기술로 떠오르고 있으며, 이 기술이 대중화가 되기 위해서는 값싼 안테나와 패키징 솔루션이 필요하다. 평면 안테나는 값싼 공정으로 대량 생산하기에 적합하지만, 전기적 설계에 있어 몇 가지 극복해야 할 과제가 있다^[1]. 레이더 탐지거리가 100 m 이상이 되려면 안테나 이득은 대개 20 dBi 이상이 되어야 하므로 배열의 크기가 아주 커지고, 따라서 피드의 손실을 줄이기 위해 각별한 주의가 필요하다. 와이어 본드의 기생 성분이 신호 무결성(signal integrity)을 심각히 저해하므로 대책이 필요하다.

본 논문에서는 저가의 상용 인쇄 회로 기판(PCB) 공정을 이용해 77 GHz 대역 차량용 레이더의 프론트 엔드 모

듈을 설계하는 방법을 제시한다. 특히 안테나 설계^[2] 이후 와이어 본드와 도파관 전이 구조를 포함한 77 GHz 인터커넥트를 설계하는 방법을 주로 다룬다.

II. 유전체

제안된 모듈의 단면도를 그림 1에 나타냈다. Open cavity에 칩을 넣어 와이어 본드 길이를 최소화했다. 재료비를 줄이기 위해 고주파에서 손실이 적은 Taconic사의 TLY를 한 층에만 사용하고, 그 곳에 77 GHz 인터커넥트를 배치했다. 나머지 층은 저렴한 FR4를 사용하여 저속 신호와 전력 분배망을 배치했다.

모듈을 설계할 때 유전율을 정확히 알아야 하지만, 이 정도 주파수에서는 제조사조차도 유전율을 모르는 경우가 많다. 따라서 우리는 별도의 측정을 통해 유전율을 알

「이 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(2012R1A2A2A01019150).」

아주대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· Manuscript received February 10, 2014 ; Revised March 3, 2014 ; Accepted March 4, 2014. (ID No. 20140210-023)

· Corresponding Author: Dong Gun Kam (e-mail: kam@ajou.ac.kr)

아내야 했다. 밀리미터파 대역에서는 주로 자유공간 물질 상수 측정법^[3]이 많이 사용된다. 그러나 얇은 유전체 시트에 도체가 부착되지 않은 채로 측정되기 때문에 conductor loss가 반영되지 않고, 특히 surface roughness를 고려하면 실제 PCB에 사용될 때와 비교해서 특성 차이가 많이 난다. 그래서 제안된 stack-up에 마이크로스트립 측정 패턴을 만들고, LiLj 방법을 이용해 TLY의 유전율을 측정했으며, 그 결과를 그림 2에 나타냈다. 두 마이크로스트립 패턴이 길이만 다르고, 단면의 치수는 같을 때 본 추출 방법은 완벽하지만, 저가의 PCB 공정에서는 공정 오차로 인해 이러한 조건이 성립하지 않으므로 검은 선과 같이 편차를 보이게 마련이다. 따라서 그 추세를 Debye 모델로 근사한 값(빨간 선)을 추후 모듈 설계에 적용했다.

III. 모듈 설계

3-1 와이어 본드 전이 구조

본 모듈에는 Infineon사의 RTN7730과 RRN7740이 각각 송신, 수신 칩으로 사용되었는데, 와이어 본드의 큰 인덕턴스를 보상하기 위한 매칭회로가 필요하다. 차동 와이어 본드에 대해 77 GHz 대역에서 검증된 quasi-static 모델이 없어서 두 가지 상용 시뮬레이션 툴(HFSS, MWS)을 사용해서 와이어 본드의 기생 성분을 추출했고, 그 결과 S_{21} 이 둘 다 -5 dB 정도로 비슷하게 나왔다. 만약 $\lambda/4$ 변환기를 본딩 패드 바로 다음에 넣는다면 변환기에 필요한 임피던스는 매우 클 것이고(즉, 선폭은 매우 작을 것이고), 이는 저가의 PCB 공정으로 만들기 어렵다. 따라서 먼저 $\lambda/4$ 길이의 100 Ω 차동 전송선을 붙여 입력 임피던스를 100 Ω 보다 작게 만든 후 $\lambda/4$ 변환기를 배치했다. 그러면 그림 3과 같이 $\lambda/4$ 변환기를 설계할 수 있다. 고안된 매칭회로는 그림 4와 같이 76.5 GHz에서 S_{21} 이 -1.47 dB로서, 매칭회로가 없을 때보다 S_{21} 이 3 dB 이상 개선되었다.

3-2 도파관 전이 구조

밀리미터파 대역을 측정하는 프로브는 매우 비싸고 부러지기 쉬우므로, 산업 현장에는 도파관 flange가 주로 이

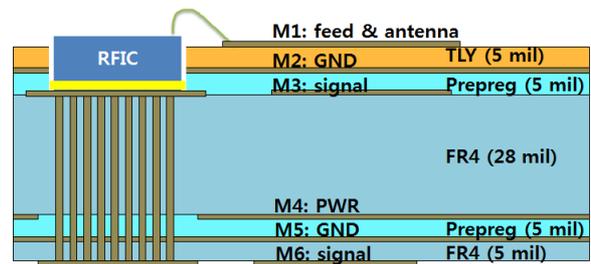
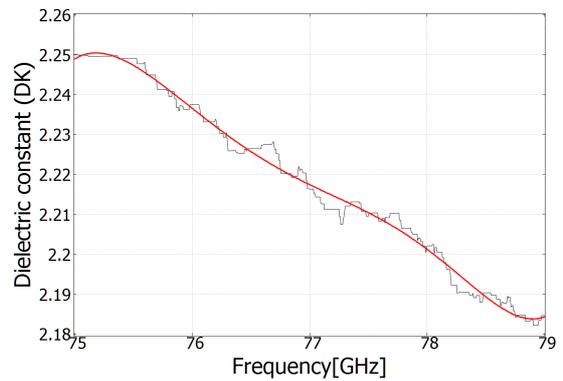
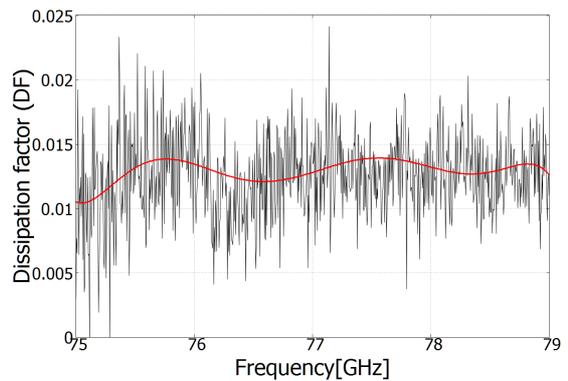


그림 1. 제안된 모듈의 stack-up
Fig. 1. Stack-up of the proposed module.



(a) 유전율
(a) Dielectric constant(DK)



(b) 유전 손실률
(b) Dissipation factor(DF)

그림 2. 측정된 TLY 유전율
Fig. 2. Measured dielectric constant of TLY.

용된다. 양면을 사용하는 마이크로스트립-도파관 전이구조가 최근 개발되었으나^[5], 제안된 모듈에서는 도파관이 놓일 곳에 이미 냉각판이 있어 사용할 수 없다. 따라서 그

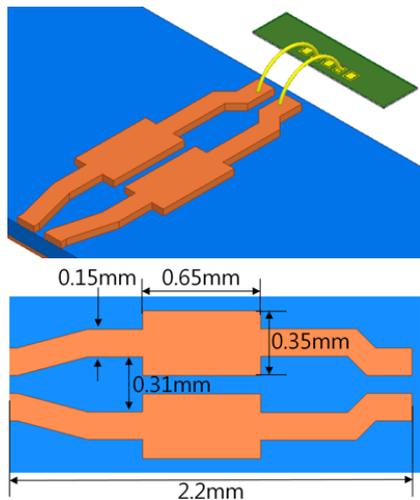


그림 3. 와이어 본드 전이 구조의 임피던스 매칭
Fig. 3. Impedance matching of wire-bond transition.

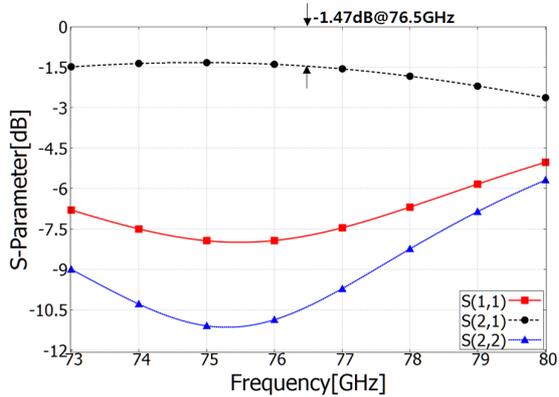


그림 4. 와이어 본드 전이 구조의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation results of wire-bond transition.

림 5와 같이 사각 패치를 마이크로스트립에 직접 연결하는 방식으로 구조를 수정했다. 이 때 마이크로스트립이 도파관 내의 전자기장과 간섭할 수 있으나, 77 GHz 근처 좁은 대역에서는 별 문제가 없음을 그림 6으로부터 알 수 있다. 그림 7은 와이어 본드, 도파관 전이 구조와 balun을 포함한 전체 피드 네트워크의 시뮬레이션 결과를 보여 준다.

IV. 모듈 분석

제작된 모듈을 그림 8에 나타냈다. 그림 9는 3가지 다

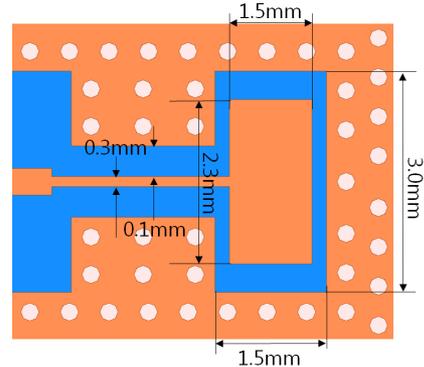
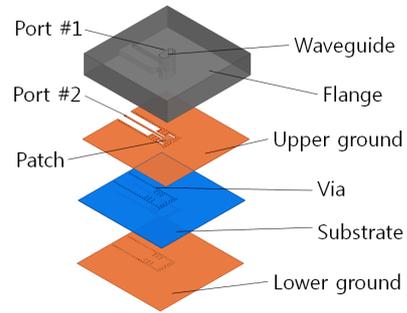


그림 5. 마이크로스트립-도파관 전이 구조
Fig. 5. Microstrip-to-waveguide transition.

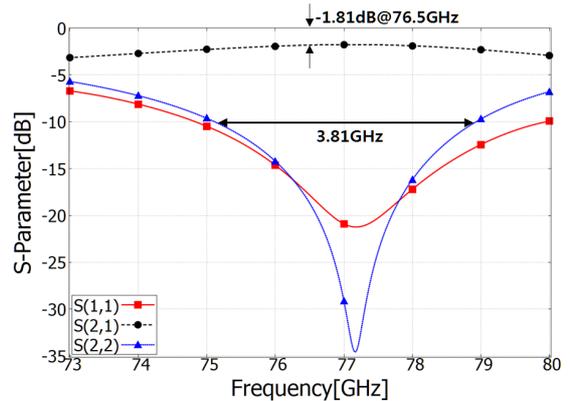


그림 6. 도파관 전이구조의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of the proposed waveguide transition.

른 모듈의 출력 전력을 측정된 결과로 평균 출력이 76.5 GHz에서 6.9 dBm이었다. 각 모듈은 76~77 GHz 사이에서 1.6~2.0 dB 정도 변화를 나타냈는데, 칩 자체가 이 주파수 범위에서 1.5 dB 정도 출력 변화를 보이는 것을 고려하면 합리적이다. 이 때 칩 패드에서의 출력은 레지스

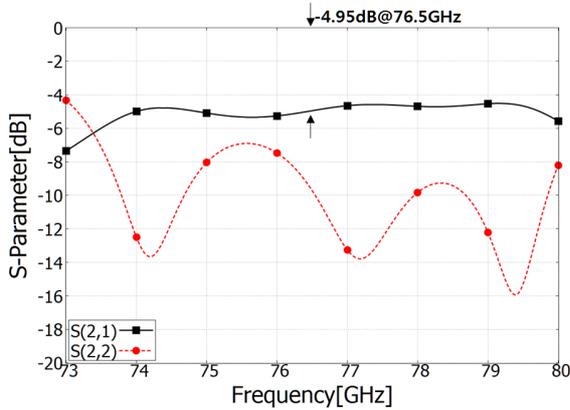


그림 7. 전체 피드 네트워크의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation results of the overall feed network.

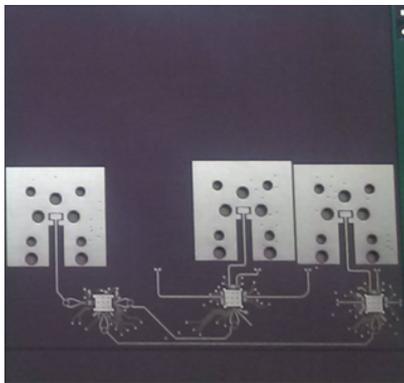


그림 8. 제작된 모듈
Fig. 8. Module printed circuit board.

터 값을 통해 12.6 dBm으로 추정되었다. 따라서 와이어본드에서부터 flange까지 손실이 5.7 dB인 것으로 계산되는데, 이를 시뮬레이션과 비교하면 0.75 dB 정도 차이가 난다. 주파수 대역을 확장하여 측정해 보니 77.2 GHz에서 최대 출력 7.7 dBm을 냈다. 공진 주파수가 0.7 GHz 정도 차이 나는 것을 제외하면 시뮬레이션 값과 측정된 값이 불과 0.05 dB 차이가 난다.

V. 결 론

본 논문에서는 상용 전자기 해석 툴을 사용하여 77

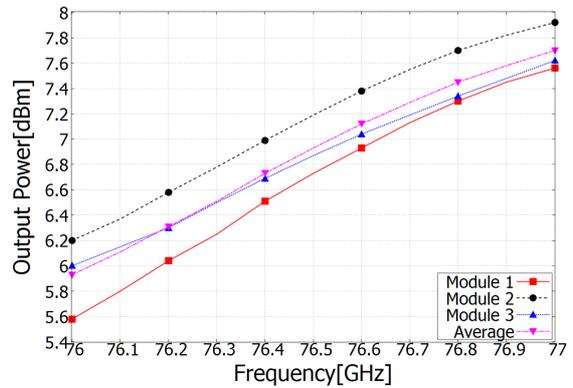


그림 9. 측정된 송신단의 출력 파워
Fig. 9. Measured Tx output power.

GHz 차량용 레이더의 프론트 엔드 모듈을 설계하는 방법을 제시했다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 잘 맞으므로, 이 설계 방법은 다른 밀리미터파 대역의 제품 개발에 그대로 적용할 수 있겠다.

References

- [1] J. Schoebel, P. Herrero, "Planar antenna technology for mm-wave automotive radar, sensing, and communications", *Intech*, 2010.
- [2] D. Shin, et al., "Design of low side lobe level millimeter-wave microstrip array antenna for automotive radar", *2013 Int'l Symp. Antennas and Propagation*, Nanjing, China, pp. 677-680, Oct. 2013.
- [3] 강진섭, 김정환, 조치현, 김대찬, "자유공간 물질상수 측정법을 이용한 W-band 유전율 측정", *한국전자과학 회논문지*, 24(3), pp. 253-258, 2013.
- [4] A. Mangan, et al., "De-embedding transmission line measurements for accurate modeling of IC designs", *IEEE Trans. Electron Devices* 53, pp. 235-241, 2006.
- [5] K. Seo, "Planar microstrip-to-waveguide transition in millimeter-wave band, Advancement in microstrip antennas with recent applications", *Intech*, 2013.