

Ka 대역 VSAT용 이중대역 직교모드변환기 설계

이홍열*, 엄만석*, 윤소현*, 염인복*, 김현수**, 박정우**

Design of Dual-band Ortho-mode Transducer for Ka-band VSATs

Hongyeol Lee*, Manseok Uhm*, Sohyeon Yun*, Inbok Yom*, Hyunsoo Kim**, and Jeongwoo Park**

요 약

본 논문에는 Ka 대역 VSAT용 반사판 안테나의 급전부에 사용하기 위한 이중대역 직교모드변환기의 설계와 실험 결과를 보였다. 설계된 직교모드변환기는 20GHz의 수신대역 주파수 영역과 30GHz의 송신대역 주파수 영역에서 동작하는 두 개의 선형 직교 편파된 신호를 분리하기 위해서 광대역 특성을 갖는다. 또한, 급전 부품의 부피를 작게 하기 위해서 Boifot 접합 기반의 직교모드변환기를 이중 대역을 갖도록 설계를 하였다. 설계 검증을 위한 실험결과 수평편파에 대해서 수신대역과 송신대역의 반사손실은 각각 20dB와 21dB 이상의 특성을 나타냈으며, 수직편파에 대해서는 20dB와 24dB 이상의 특성을 보였다. 수평편파와 수직편파에 대한 격리도 특성은 수신대역과 송신대역에서 각각 43dB와 52dB 이상을 보였다.

Key Words : Ka-band, OMT, dual-band, satellite, VSAT.

ABSTRACT

In this paper, we present design and test results of a Ka-band dual-band ortho-mode transducer (OMT) for use in a feed assembly for the very small aperture terminals (VSATs). The designed ortho-mode transducer have wideband characteristics to separate the signals that have two orthogonal linear polarizations operating at 20GHz of receive frequency band and at 30GHz of transmit frequency band. In addition, in order to reduce the volume of the feed assembly, a Boifot based ortho-mode transducer has been designed with a dual-band. Experimental results for the design verification, the return loss in the receive band and in the transmit band for the horizontal polarization showed over 20dB and 21dB, respectively, and for the vertical polarization showed over 20dB and 24dB, respectively. The port isolation for the horizontal polarization and the vertical polarization showed over 43dB and 52dB, respectively, in the receive band and in the vertical band.

I. 서 론

위성방송과 위성통신의 수요가 급증하면서 민간 및 군통신 위성 주파수로 할당되어 있는 Ka 대역의 주파수 대역에 대한 위성 기술 개발이 활발히 진행이 되고 있다. 현재 우리나라도 2010년 6월에 국가 우주국책사업의 일환으로 개발한 우리나라 최초의 정지궤도 복합 위성인 천리안 위성을 발사하였고, 실험적으로 Ka 대역 위성 중계기에 대하여 통신 링크 품질을 실험하고 있다. 이러한 위성 통신에서 가장 일반적으로 사용하는 위성 안테나 시스템의 급전 부품은 그림 1에서 보는 것과 같이 급전 혼(feed horn), 편파기(polarizer), 직교모드변환기(ortho-mode transducer; OMT) 그리고 다이플렉서(diplexer)로 구성되어 있다. 위성 통신에서 Ka 대

역은 송신(30GHz) 주파수와 수신(20GHz) 주파수 사이의 간격이 부분 주파수(fractional frequency)로 40% 이상 떨어져 있기 때문에 광대역 급전부가 필요하며, 그 중에서 광대역 직교모드변환기가 핵심 부품이다. 직교모드변환기는 하나의 반사판 안테나를 사용하여 직교하는 두 개의 선형 편파를 지닌 송수신 신호를 구분해 주는 장치이다. 본 연구에서는 VSAT (Very Small Aperture Terminal) 용도의 반사판 안테나의 급전부에 사용하기 위한 직교모드변환기를 설계하였다. 기존의 직교모드변환기 구조의 단점을 보완하고 변형시킨 구조인 Boifot 접합 구조[1]-[4]를 기본으로 하는 직교모드변환기를 Ka 대역에서 사용할 수 있도록 이중의 광대역 구조로 설계하였고 실험을 통해 설계 결과를 검증하였다.

* 본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신-방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

*한국전자통신연구원 방송통신미디어연구부 무선무선RF기술연구실 (hylees@etri.re.kr, msuhm@etri.re.kr, yunsh@etri.re.kr, ibyom@etri.re.kr)

** (주)인텔리안테크놀로지스 (hyunsoo.kim@intelliantech.com, jeongwoo.park@intelliantech.com), 교신저자 : 이홍열

접수일자 : 2013년 6월 24일, 수정완료일자 : 2013년 9월 13일, 최종 게재확정일자 : 2013년 9월 16일

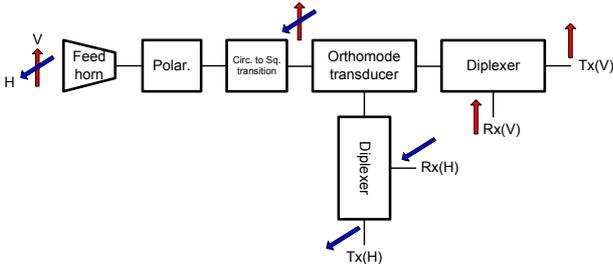


그림 1. Ka 대역 이중편파 급전부 블록도

II. 이중대역 직교모드변환기 설계

1. Boifot 접합 직교모드변환기 설계

본 논문에서 설계하고자 하는 Ka 대역 Boifot 접합 방식 직교모드 변환기 기본 형상을 그림 2에 나타내었다. 공통 단자는 기본 TE_{10} 모드와 TE_{01} 모드의 수직하는 두 개의 편파가 진행할 수 있도록 정사각형 구조를 갖는다. 공통 단자로 수직 편파인 TE_{10} 모드가 입사하였을 경우 Boifot 접합 부분에 있는 금속 격벽에 의해 TE_{10} 모드의 전계 성분이 상하로 분리되어 진행을 하다가 금속의 격벽이 끝나는 부분에서 다시 결합이 되어 축 방향 단자로 진행하게 된다. 하지만, 수평 방향에 있는 양쪽 도파관으로는 금속 포스트에 의해 단락(short) 되어 진행을 하지 못한다. 반대로 TE_{01} 모드의 수평 편파가 공통 단자로 입사하였을 경우 금속 격벽에 의해 단락되어 축 방향으로의 진행을 못하고 수평 방향에 있는 양쪽 도파관으로만 진행할 수 있게 된다. 이러한 동작 원리로 공통 단자로 동시에 입사되는 두 개의 직교하는 편파는 각 편파별로 정확하게 분리된다.

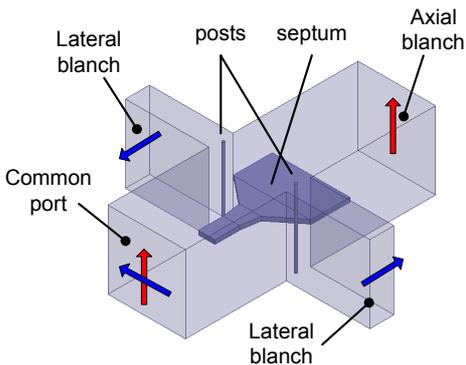


그림 2. Boifot 접합 직교모드변환기 구조

그림 3은 Boifot 접합 직교모드변환기에 대한 설계 결과로써 상용의 EM 해석 프로그램인 Ansys사의 HFSS를 이용한 반사손실 결과를 나타낸다. 서론에서 언급했듯이 위성 통신에서 있어서 Ka 대역은 송신(30GHz) 주파수와 수신(20GHz) 주파수 사이의 간격이 부분 주파수로 40% 이상 떨어져 있기 때문에 이중 대역을 갖도록 설계하였다. 해석 결과를 보면

송수신 대역에서 모두 25dB 이상의 반사손실 특성을 보인다.

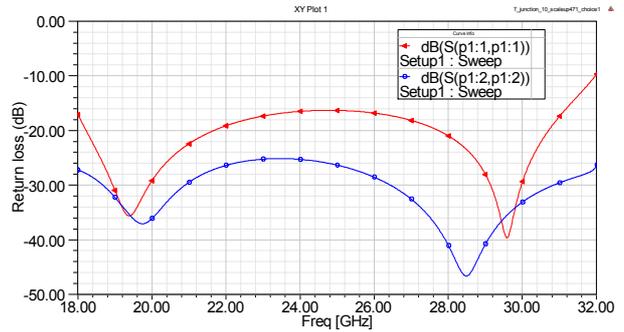


그림 3. Boifot 접합 직교모드변환기 반사손실 특성

2. E-평면 전력 합성기 설계

그림 2에서 보이는 것과 같이 공통 단자에 수평으로 입사된 편파는 금속 격벽에 의해 180도의 위상 차이를 갖고 양쪽 도파관으로 분기가 되어 진행이 된다. 따라서, E-평면의 전력 합성기를 이용하여 동일한 위상으로 편파를 결합하여야 한다. 그림 4는 E-평면의 전력 합성기를 나타낸다. 서로 다른 위상을 갖는 두 개의 편파가 T-접합 형태의 전력 합성기를 통해 동일한 위상으로 결합이 되어 수평편파 단자로 진행하는 구조를 보여준다.

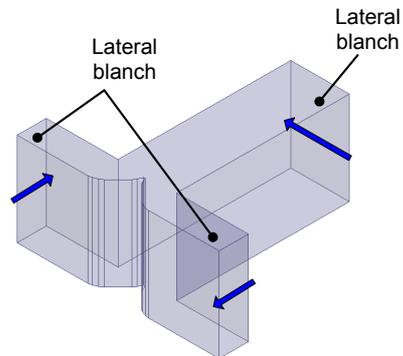


그림 4. E-평면 전력 합성기 구조

그림 5는 수평편파 단자에서 본 반사손실 특성에 대한 전자기장 해석 결과이다. 송수신 대역 내에서 40dB 이상의 특성을 보인다.

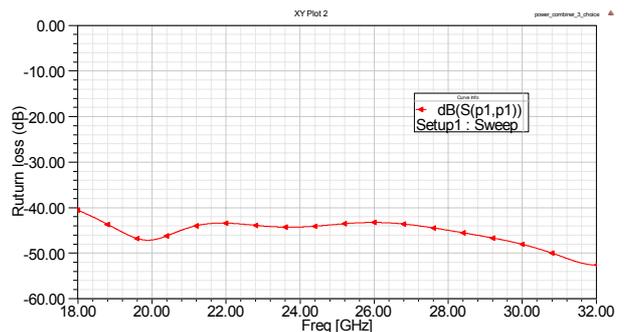


그림 5. E-평면 전력합성기 반사손실 특성

3. Chebyshev 임피던스 변환기 설계

그림 2에서 공통 단자에 축 방향으로 진행된 편파와 수평 방향으로 진행한 편파의 종단은 그림 1에서와 같이 다이플렉서의 공통 단자와 연결이 되어야 한다. 따라서 임피던스 변환 구조가 필요하며, 본 논문에서는 광대역 특성을 구현하기 위해서 Chebyshev 임피던스 변환 구조를 사용하였다. Chebyshev 임피던스 변환기의 대역폭은 차수에 의해서 결정이 되며 본 설계에서는 3단을 사용하여 설계하였다. 그림 6은 수직편파 단자 앞에 놓일 도파관으로 설계된 Chebyshev 임피던스 변환 구조를 나타내고, 그림 7은 전자장 해석 결과이다. 송수신 대역에서 모두 25dB 이상의 특성을 보인다. 수평편파 단자 앞에 사용할 도파관 임피던스 변환기 구조 또한 3단으로 설계하였고 대역 안에서 26dB 이상의 반사손실 특성을 보였다.

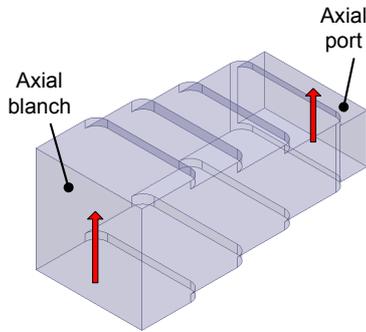


그림 6. Chebyshev 임피던스 변환기 구조

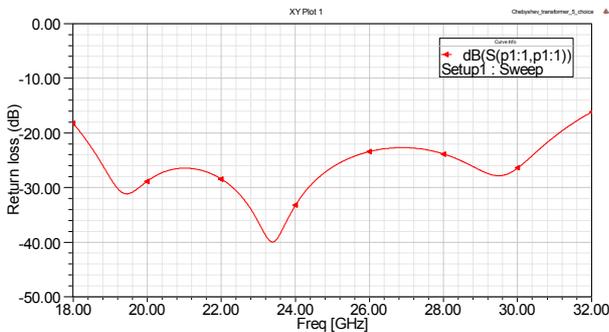


그림 7. Chebyshev 임피던스 변환기 반사손실 특성

4. 설계 결과

그림 8은 앞서 설계한 이중대역 직교모드변환기의 Boifot 접합부, E-평면 전력합성기 부분 그리고 도파관 Chebyshev 임피던스 변환 구조를 E-평면으로 90도 구부린 도파관을 이용하여 연결한 Ka 대역 직교모드변환기의 전체 구조이다.

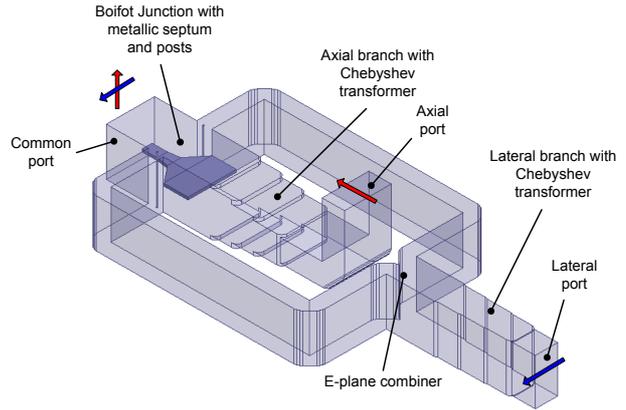


그림 8. Ka 대역 직교모드변환기 형상

그림 9는 전자장 해석 결과로써 반사손실 특성을 나타낸다. 수직편파와 수평편파 모두 송수신 대역에서 각각 25dB와 21dB 이상의 특성을 보인다.

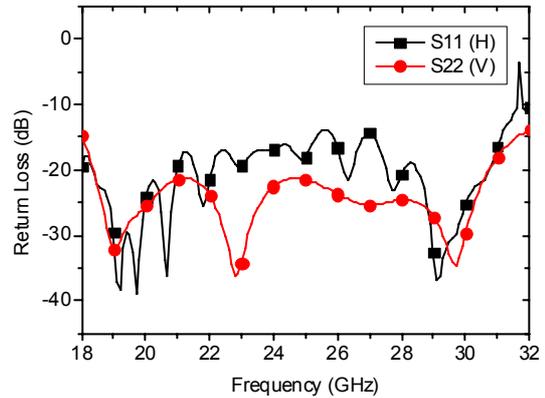


그림 9. Ka 대역 직교모드변환기 반사손실 특성

III. 이중대역 직교모드변환기 제작 및 시험

그림 10은 Ka 대역 직교모드변환기의 제작 사진이다. 알루미늄을 이용했으며 표면 처리는 하지 않았다. 수평 방향으로 2개의 부분으로 나누어 제작한 뒤 나사를 이용하여 체결을 하였다.

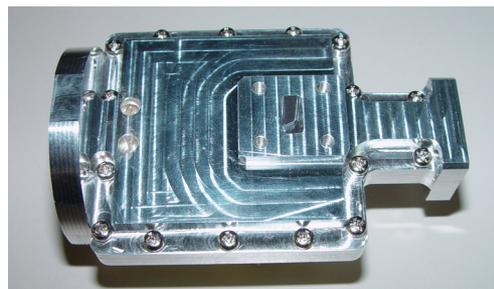


그림 10. 제작된 Ka 대역 직교모드변환기 사진

그림 11은 직교모드변환기의 측정 결과이다. 수신대역에서 수평편파와 수직편파의 반사손실은 각각 20dB 이상의 특성을 보였고 편파 단자간 격리도는 43dB 이상을 나타내었다. 송신대역에서 수평편파의 반사손실은 21dB 이상, 수직편파에서는 24dB 이상의 특성을 보였다. 송신대역의 격리도 특성은 52dB 이상을 나타내었다.

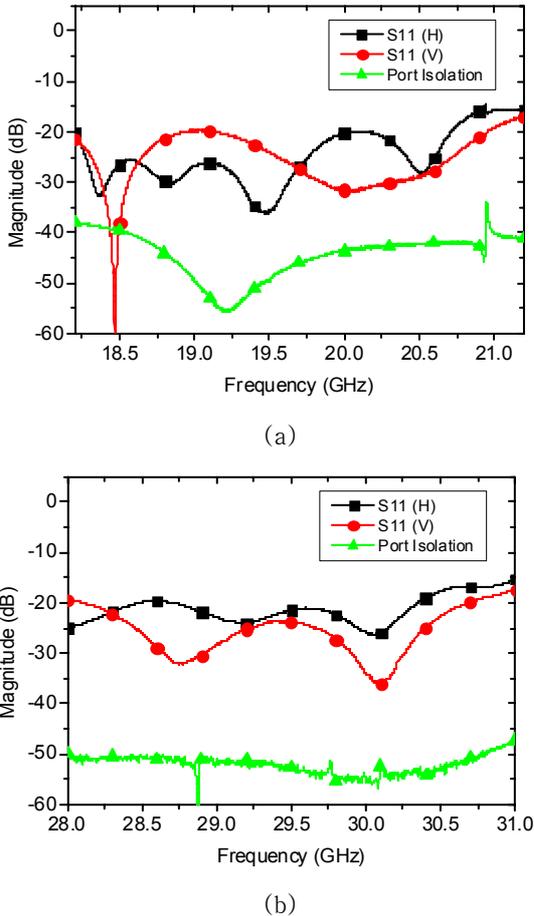


그림 11. Ka 대역 직교모드변환기 측정결과 (a)수신대역 (b)송신대역

IV. 결론

본 논문에서는 Ka 대역에서 이중 대역을 갖는 Boifot 접합 기반의 직교모드변환기를 설계하였고, 제작과 실험을 통해 설계 결과를 검증하였다. 시험 결과, 직교하는 이중의 교차 편파에 대해서 송수신 대역에서 모두 20dB 이상의 반사손실과 43dB 이상의 편파 단자간 격리도 특성을 보였다. 설계 결과에 비해 실험 결과의 손실이 다소 커졌지만 가공 정밀도를 높이고 은도금 등의 표면 처리를 한다면 더욱 향상될 것으로 기대한다. 본 논문의 설계 결과는 이중의 편파를 갖는 Ka 대역 광대역 VSAT용 위성안테나의 급전부에 적용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] A. M. Boifot, E. Lier and T. Schaug-Pettersen, "Simple and broadband orthomode transducer", IEE Proc., vol. 137, no. 6, pp. 396-400, 1990.
- [2] J. A. Ruiz-Cruz, J. R. Montejó-Garai and J. M. Rebolgar, "Computer Aided Design of Wideband Orthomode Transducers Based on the Boifot Junction", IEEE MTT-S Digest, pp. 1173-1176, 2006.
- [3] G. Narayanan and N. R. Erickson, "A Novel Full Waveguide Band Orthomode Transducer", Int. Symp. On Space Terahertz Technology, pp. 505-514, 2002.
- [4] 이홍열, 엄만석, 윤소현, 염인복, 김현수, 박정우, "Ka 대역 VSAT용 이중 광대역 직교모드변환기 설계", 한국통신학회 하계학술대회, 2013.

저자

이 홍 열(Hongyeol Lee)



- 1999년 2월 : 충북대학교 전파공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 전파공학과 (공학박사)

· 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 위성무선RF기술연구실 선임연구원

<관심분야> : 위성 탑재체, 수동소자, 필터, 안테나

엄 만 석(Manseok Uhm)



- 1987년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)

· 1992년~현재 : 한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구팀 책임연구원

<관심분야> : 위성시스템, 위성 탑재체, 능동소자, MMIC, 수동소자, 안테나 개발

윤 소 현(Sohyeun yun)



- 1998년 2월 : 충북대학교 전파공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구팀 선임연구원

<관심분야> : 위성탑재용 안테나, 위성추적 안테나, 안테나 급전소자, 수동소자 개발

염 인 복(Inbok Yom)



- 1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

· 1990년~현재 : 한국전자통신연구원 위성무선RF기술연구실 실장.

<관심분야> : 위성시스템, 위성 탑재체, 능동소자, MMIC, 수동소자, 안테나 개발

김 현 수(Hyunsoo Kim)



- 1996년 2월 : 인제대학교 물리학과 (공학사)
- 1996년 3월~2011년 2월 : 하이게인 안테나 연구소
- 2011년~현재 : (주)인텔리안테크놀로지스 연구소 수석연구원

<관심분야> : 위성시스템, 위성 안테나, 안테나 급전소자, 능동소자

박 정 우(Jeongwoo Park)



- 1983년 2월 : 경북대학교 (공학사)
- 1985년 2월 : 경북대학교 (공학석사)
- 1986년 5월 : 한국전기통신공사(KT)
- 2012년~현재 : (주)인텔리안테크놀로지스 RF팀 상무

<관심분야> : 위성시스템, 위성 안테나, 안테나 급전소자