

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.33>

JIIBC 2013-2-5

자계면 T-접합 구조를 갖는 X/Ku 밴드 도파관 다이플렉서의 설계

Design of X/Ku band Waveguide Diplexers with H-plane T-junction

음정희*, 최학근**, 송충호***

Jeong-Hee Eum, Hak-Keun Choi, Choong-Ho Song

요약 본 논문에서는 시스템에서 사용 가능한 자계면 T-접합 구조를 갖는 X/Ku 밴드 도파관이나 다이플렉서를 설계하고 특성을 확인하였다. 본 논문에서는 시스템에서 사용 가능한 자계면 T-접합 구조를 갖는 X/Ku 밴드 도파관 다이플렉서를 설계하고 특성을 확인하였다. 설계된 다이플렉서는 X 밴드(7.25 ~ 8.4 GHz) 주파수와 Ku 밴드(12.25 ~ 14.5 GHz) 주파수를 분리시키도록 설계하였다. 일반적인 다이플렉서는 저역통과필터와 고역통과필터, 그리고 도파관 접합부로 결합된다. 그러나 본 논문에서는 저역통과필터를 사용하지 않고 고역통과필터 자계면에 임피던스를 매칭시켜 도파관을 접합함으로써 다이플렉서 구조를 간소화 하였다. 또한, 직교모드 변환기 특성을 갖는 다이플렉서를 설계하여 수직 및 수평편파를 사용할 수 있게 하였다. 본 논문에서 설계한 다이플렉서는 이중대역 및 이중편파를 만족하는 것으로 위성통신용 안테나 피드 시스템에 사용 가능하리라 생각된다.

Abstract In this paper, X/Ku band waveguide diplexers with H-plane T-junction for satellite communication systems is proposed and its characteristics is confirmed. Two frequency bands such as X(7.25 ~ 8.4 GHz) and Ku(12.25 ~ 14.5 GHz) can be separated by the proposed waveguide diplexers. A diplexers is normally including low pass filter, high pass filter and junction waveguide. To simplify the structure of the proposed diplexers, the proposed waveguide diplexers is using impedance matching technique on H-plane of the high pass filter without low pass filter. To use vertical and horizontal polarization, the proposed diplexers with orthomode transducer(OMT) characteristics is also designed. Therefore, it is confirmed that the proposed waveguide diplexers can be used as dual-band and dual-polarization diplexers for satellite communication feed systems.

Key Words : Diplexers, Dual-band, Dual-polarization, H-plane, T-junction

1. 서론

위성통신과 군용 시스템의 등장으로 도파관 구조물의 이용은 계속 증가 추세이고, 적은 전송손실과 대전력 전송이 용이하여 널리 이용되고 있다. 이러한 구조물 중

도파관 다이플렉서는 하나의 안테나로 다중대역의 송수신을 동시에 하고자 하는 시스템에서 안테나와 시스템 사이에서 다중대역 각각의 주파수를 여과시키는 주요한 기능을 담당한다.^[1]

최근에 여러 대역의 송수신이 가능한 안테나의 개발

*준회원, 단국대학교 전자전기공학과

**정회원, 단국대학교 전자공학과 (교신저자)

***준회원, (주) LIG 넥스원

접수일자 2013년 2월 12일, 수정완료 2013년 3월 12일

게재확정일자 2013년 4월 12일

Received: 12 February 2013 / Revised: 12 March 2013 /

Accepted: 12 April 2013

**Corresponding Author : hkchoi@dankook.ac.kr

Dept. of Electronics Engineering, Dankook University, Korea

로 인하여 대역을 분리시켜주는 다이플렉서의 중요성이 더욱 부각이 되고 있다. 또한, 현재 독립적으로 운용중인 X 밴드 및 Ku 밴드 2개의 시스템을 하나의 시스템으로 단일화 시 시스템 설치 공간 및 운용을 절감할 수 있는 장점이 있다.

일반적으로 다이플렉서 구조는 저역통과필터와 구역 통과필터, 그리고 이 둘을 연결하는 접합부 도파관으로 이루어져 있다. 도파관 다이플렉서는 각각의 주파수 대역에서 필터 자체의 통과 특성을 확보해야 하며, 원하지 않는 대역에서는 차단 특성이 우수하여야 한다. 또한 두 개의 대역이 인접하여 있으므로 상호간 높은 격리도를 요구한다. 도파관 다이플렉서는 두 개의 필터를 어떻게 접합부 도파관과 연결하느냐에 따라, 전계면 접합 다이플렉서와 자계면 접합 다이플렉서로 크게 나뉜다. 전계면 접합 다이플렉서는 도파관의 전계면 상에 직접 필터를 연결한 형태이고, 자계면 다이플렉서는 도파관의 자계면 상에 직접 필터를 연결한 것이다.^[2]

본 논문에서는 저역통과필터를 사용하지 않고 고역 통과필터의 자계면에 도파관을 접합하여 다이플렉서의 크기를 소형화하여 그 구조를 간단히 하는데 그 목적이 있다. 제안한 다이플렉서는 X 밴드(Rx : 7.25 ~ 7.75 GHz, Tx : 7.9 ~ 8.4 GHz), Ku 밴드(Rx : 12.25 ~ 12.75 GHz, Tx : 14 ~ 14.5 GHz) 주파수에서 반사손실 17 dB 이상, 삽입손실은 0.7 dB 이하를 만족하며, 이중편파(수직, 수평편파) 분기 가능한 직교모드 변환기(Orthomode Transducer : OMT) 특성을 갖도록 설계하였다.

II. 관련 연구

본 논문에서 제안한 구조는 다이플렉서와 직교모드 변환기의 결합으로 인하여 다이플렉서의 특성인 X/Ku 밴드 대역간 분기가 가능하며, X 밴드에서는 직교모드 변환기의 특성인 수직 및 수평편파 분기가 가능하다. 제안한 다이플렉서는 CST사의 Microwave Studio (v.2010)를 이용하여 특성을 확인하였다.

1. 고역통과필터 설계

그림 1은 다이플렉서의 중심 도파관이 될 고역통과필터의 구조이다. 다이플렉서에서 수직 및 수평편파 모두 사용하기 위해 고역통과필터를 정사각형 도파관으로 설

계하였다. 또한 스텝을 이용하여 도파관 크기를 조절하여 고역통과필터를 구현하였다.^[3, 4] 각 스텝의 길이는 X 밴드 중심주파수의 (9.4 mm)이다.

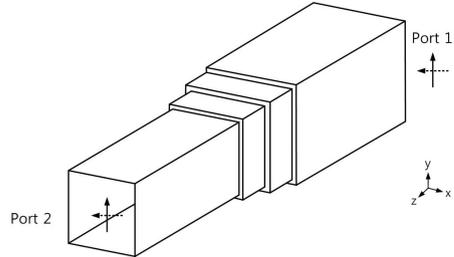


그림 1. 고역통과필터 구조
Fig. 1. Geometry of high pass filter

그림 2는 다이플렉서의 중심 도파관인 고역통과필터의 S-parameter이다. 반사손실은 Ku 밴드(12.25 ~ 14.5 GHz)에서 22 dB 이하임을 확인할 수 있고, 수직 및 수평편파가 동일함을 확인할 수 있다. 또한 X 밴드(7.25 ~ 8.4 GHz)의 신호가 통과하지 않음을 확인할 수 있다.

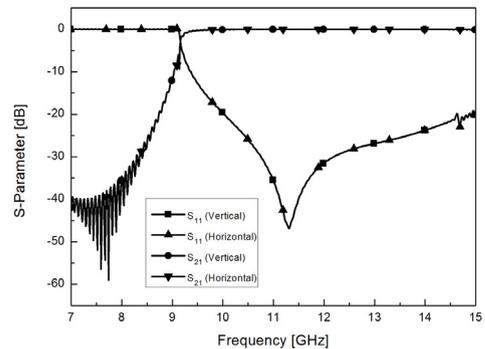


그림 2. 이중편파에서 고역통과필터의 S-parameter
Fig. 2. S-parameter of high pass filter at dual-polarization

2. X/Ku 밴드 도파관 다이플렉서

가. 일반적인 다이플렉서

다이플렉서(Diplexers)는 하나의 안테나로 두 개의 신호를 송수신 할 수 있는 통신시스템 장치중의 하나이다. 위성통신 시스템에서 다이플렉서는 흔히 대전력 전송이 용이하고, 전송선 손실이 적은 도파관 형태를 주로 이용한다. 도파관 다이플렉서는 그림 3과 같이 두 개의 상이한 필터와 그 필터를 연결하는 접합부로 구성된다.^[2, 5]

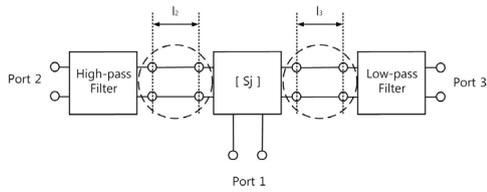


그림 3. 도파관 다이플렉서의 기본 구성
Fig. 3. Composition of waveguide diplexers

나. 제안한 다이플렉서 설계

그림 4는 그림 1의 고역통과필터 자계면에 저역통과필터를 사용하지 않고 접합부 도파관의 임피던스 매칭을 이용하여 Port 3을 추가한 구조이다. Port 3은 WR-112(28.5 × 12.62 mm)를 사용하였다. X 밴드의 대역폭을 증가하기 위하여 접합부 도파관에 리지(그림 5의 둥근 파선 부분)를 삽입하여 대역폭을 증가하였다.^[6]
^[7] Port 1에서 X/Ku 밴드 수직·수평편파가 입력되고, Port 2는 Ku 밴드 수직·수평편파가 출력된다. Port 3은 X 밴드의 수직편파만 출력된다.

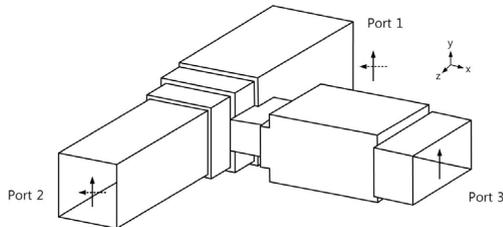


그림 4. 다이플렉서 구조
Fig. 4. Geometry of diplexers

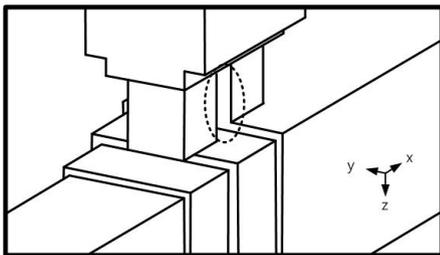


그림 5. 접합부 리지 도파관 구조
Fig. 5. Geometry of ridge waveguide in T-junction

그림 6은 고역통과필터(그림 1)와 다이플렉서(그림 4)의 반사손실 비교이다. Port 3이 추가됨으로 인하여 X 밴드(7.25 ~ 8.4 GHz)의 반사손실이 15 dB 이하임을 확인할 수 있다. 또한 Ku 밴드(12.25 ~ 14.5 GHz) 반사손

실이 20 dB 이하임을 확인할 수 있다.

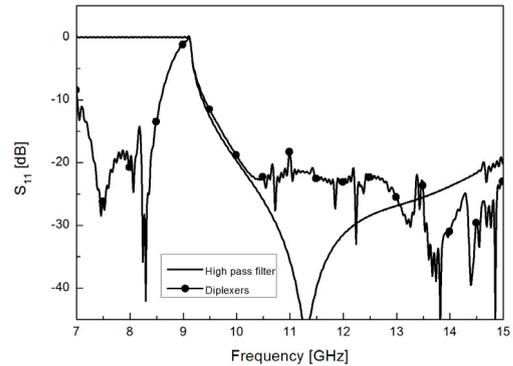


그림 6. 고역통과필터와 다이플렉서의 반사손실
Fig. 6. Return loss of high pass filter and diplexers

3. X/Ku 밴드 이중편파 도파관 다이플렉서

가. 일반적인 직교모드 변환기

직교모드 변환기(Orthomode Transducer : OMT)는 정사각형 또는 원형 도파관내에서 편파 신호가 상호 간섭 없이 진행하도록 하는 장치이다. 그림 7은 직교모드 변환기 구조의 한 예를 보인 것이다. 공용포트(포트 1)는 원형 도파관 형태를 가지며 수평편파(포트 1H)와 수직편파(포트 1V) 신호가 동시에 인가된다. 구조상의 상호 직교성에 의해 수평편파 신호는 포트 2로 출력되고, 수직편파 신호는 포트 3으로 출력된다.^[1]

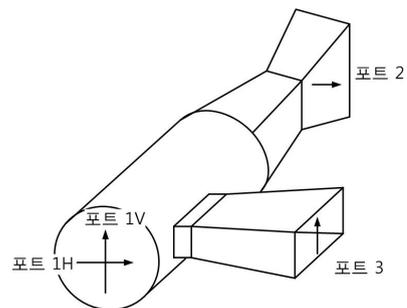


그림 7. 직교모드 변환기 구조
Fig. 7. Geometry of orthomode transducer

나. 직교모드 변환기 특성을 갖는 다이플렉서 설계

그림 8은 X/Ku 밴드의 수직 및 수평편파를 사용하기 위해 Port 4를 추가한 구조이다. Port 1은 X/Ku 밴드 수직·수평편파 신호가 입력되며, Port 2는 Ku 밴드의 수직·수평편파 신호가 출력된다. Port 3은 X 밴드의 수직

편파 신호만 출력되며, Port 4는 X 밴드의 수평편파 신호만 출력된다. 수직편파에서 Port 4는 수직편파 전계 성분과 Port 4에서 전파 진행방향 성분이 같은 방향이므로 고차모드가 생성되어 Port 4로 신호가 출력되지 않는다. 수평편파에서는 수직편파와 반대로 Port 3에서 고차모드가 생성되어 Port 3으로 신호가 출력되지 않는다.^[8, 9]

그림 9는 접합부 도파관의 파라미터이며, 접합부 도파관의 폭(W)과 높이(H), 길이(L)는 다이플렉서에서 가장 중요한 파라미터로서 다이플렉서의 성능을 좌우한다.

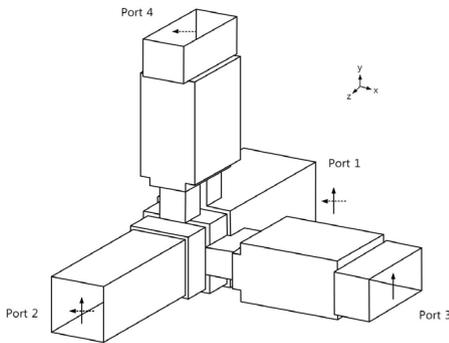


그림 8. 본 논문에서 제안한 다이플렉서 구조
Fig. 8. Geometry of proposed diplexers in this paper

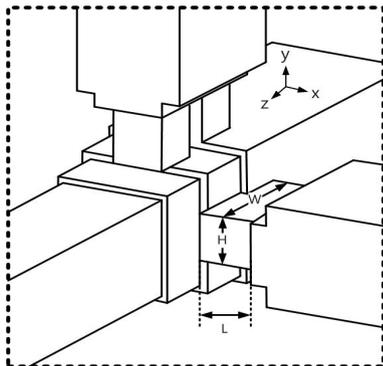


그림 9. 접합부 도파관의 파라미터
Fig. 9. Parameter of junction waveguide

그림 10은 접합부 도파관의 폭(W) 변화에 따른 반사손실 특성 변화를 나타낸다. H = 8 mm, L = 10 mm로 고정하고 W 값을 16.7 ~ 19.7 mm까지 1 mm로 변화시켰을 때 반사손실을 확인하였다. 폭이 커질수록 X 밴드의 공진들이 7.9 GHz 부근으로 이동함을 알 수 있고, 대역폭이 점차 감소함을 확인할 수 있다. 접합부 도파관의 폭이 18.7 mm 일 때, X 밴드의 대역폭이 가장 넓은 것을

확인할 수 있고, 17 dB 이하의 반사손실을 갖는다.

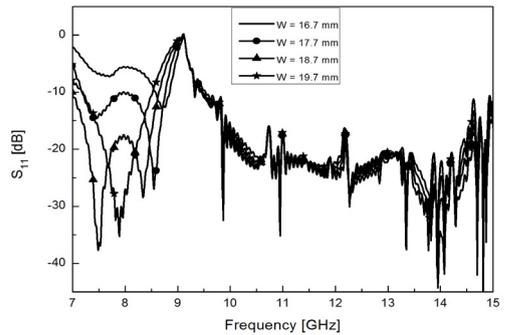


그림 10. 폭(W) 변화에 따른 반사손실 (H = 8 mm, L = 10 mm)
Fig. 10. Return loss as a function of width(W) (H = 8 mm, L = 10 mm)

그림 11은 접합부 도파관의 높이(H) 변화에 따른 반사손실 특성 변화를 나타낸다. W = 18.7 mm, L = 10 mm로 고정하고 H 값을 6 ~ 9 mm까지 1 mm로 변화시켰을 때 반사손실을 확인하였다. 높이가 작아질수록 공진이 7.9 GHz 부근으로 이동함을 알 수 있고, 반사손실이 저하됨을 알 수 있다. 접합부 도파관의 높이가 8 mm 일 때 X 밴드의 대역폭이 가장 넓은 것을 확인할 수 있다.

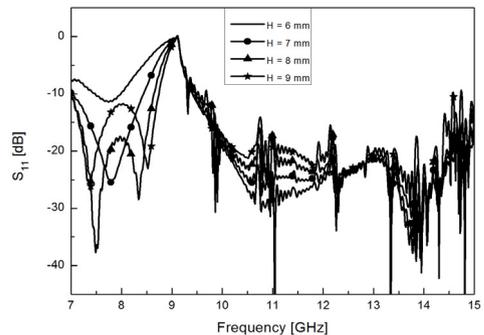


그림 11. 높이(H) 변화에 따른 반사손실 (W = 18.7 mm, L = 10 mm)
Fig. 11. Return loss as a function of high(H) (W = 18.7 mm, L = 10 mm)

그림 12는 접합부 도파관의 길이(L) 변화에 따른 반사손실 특성 변화를 나타낸다. W = 18.7 mm, H = 8 mm로 고정하고 L 값을 8 ~ 11 mm까지 1 mm로 변화시켰을 때 반사손실을 확인하였다. 길이가 길어질수록 X 밴드 반사손실의 큰 변화는 없지만, Ku 밴드 반사손실이

점차 저하됨을 확인할 수 있다. 길이가 10 mm 일 때, X 밴드에서 17 dB 이하의 반사손실을 갖는다.

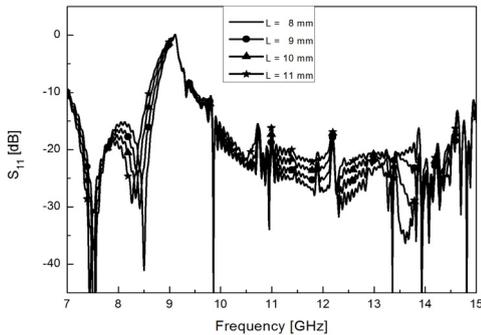


그림 12. 길이(L) 변화에 따른 반사손실 (W = 18.7 mm, H = 8 mm)

Fig. 12. Return loss as a function of length(L) (W = 18.7 mm, H = 8 mm)

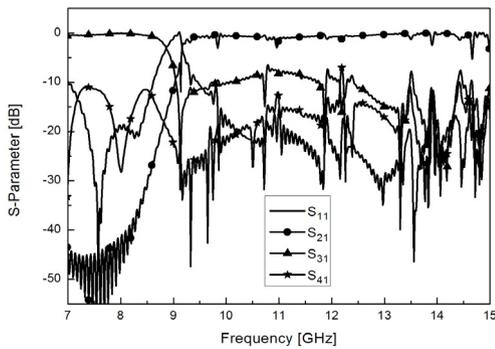


그림 13. 수직편파에서 제안한 다이플렉서의 S-parameter

Fig. 13. S-parameter of the proposed duplexers at vertical polarization

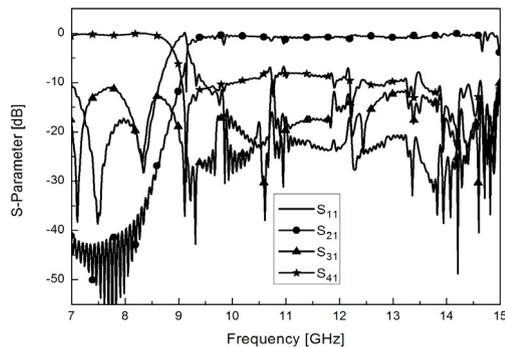


그림 14. 수평편파에서 제안한 다이플렉서의 S-parameter

Fig. 14. S-parameter of the proposed duplexers at horizontal polarization

그림 13과 14는 본 논문에서 제안한 다이플렉서의 수직편파와 수평편파에 대한 S-parameter 특성이다. 수직 및 수평편파에 대한 반사손실(S_{11})이 대체로 비슷함을 확인할 수 있고, Port 2의 삽입손실(S_{21}) 또한 비슷함을 확인할 수 있다. 수직 및 수평편파에 대한 Port 3과 4의 삽입손실은 반대임을 알 수 있는데, 수직편파의 경우 전계의 방향과 Port 4의 전파 진행방향이 동일하여 고차모드가 발생되어 Port 4는 신호가 출력되지 않고, Port 3에만 X 밴드 신호가 출력됨을 확인할 수 있다. 수평편파는 수직편파와 반대로 Port 3에 고차모드가 생성되어 Port 3은 신호가 출력되지 않고, Port 4에만 X 밴드 신호가 출력됨을 확인할 수 있다.

표 1과 표 2는 제안한 다이플렉서의 수직 및 수평편파에 대한 계산결과이다. 보는 바와 같이 수직 및 수평편파에 대한 반사손실은 전 대역 17 dB 이하를 만족하며 삽입손실은 0.7 dB 이상을 만족한다.

표 1. 수직편파에서의 다이플렉서 계산 결과

Table 1. Simulation result of duplexers at vertical polarization

	X 밴드 (7.25 ~ 8.4 GHz)		Ku 밴드 (12.25 ~ 14.5 GHz)	
	Rx	Tx	Rx	Tx
반사손실	17.2 dB	17.2 dB	20 dB	17.7 dB
삽입손실	0.48 dB	0.48 dB	0.7 dB	0.7 dB
격리도	33.7 dB	33.7 dB	10 dB	10 dB

표 2. 수평편파에서의 다이플렉서 계산 결과

Table 2. Simulation result of duplexers at horizontal polarization

	X 밴드 (7.25 ~ 8.4 GHz)		Ku 밴드 (12.25 ~ 14.5 GHz)	
	Rx	Tx	Rx	Tx
반사손실	17.2 dB	17.2 dB	20 dB	17.7 dB
삽입손실	0.48 dB	0.48 dB	0.7 dB	0.7 dB
격리도	33.7 dB	33.7 dB	10 dB	10 dB

III. 결론

본 논문에서는 지역통과필터를 사용하지 않고 고역 통과필터의 자계면 측면에 임피던스 매칭을 이용하여 X(7.25 ~ 8.4 GHz) / Ku(12.25 ~ 14.5 GHz) 밴드에서 이용 가능하며, X 밴드의 수직 및 수평편파를 분기할 수

있는 자계면 T-접합 도파관 다이플렉서를 제안하였다.

제안한 다이플렉서는 X/Ku 밴드 이중편파 이중대역 위성통신 시스템에 적용될 수 있는 도파관 형태의 구조로 설계하였다. 고역통과필터 내부에 자계면 T-접합을 이용하여 다이플렉서 형태를 가지고, 직교모드 변환기 구조를 이용하여 Port 4의 출력부를 추가함으로써 X 밴드의 수직 및 수평편파를 분기할 수 있는 구조를 갖는다.

제안한 다이플렉서의 수직편파에서의 반사손실은 전 대역 17.2 dB 이하임을 확인하였고, 삽입손실은 전 대역 0.7 dB 이상임을 확인하였다. 격리도는 X 밴드에서 33.7 dB 이하, Ku 밴드에서는 10 dB 이하임을 확인하였다. 또한, Port 4로 수직편파가 출력되지 않음을 확인하였다.

수평편파에서의 반사손실은 전 대역 17.8 dB 이하임을 확인하였고, 삽입손실은 전 대역 0.68 dB 이상임을 확인하였다. 격리도는 X 밴드에서 33.3 dB 이하, Ku 밴드에서는 10 dB 이하임을 확인하였다. 또한, Port 3으로 수직편파가 출력되지 않음을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 자계면 T-접합 도파관 다이플렉서는 X/Ku 밴드 이중편파 이중대역 위성통신 시스템에 활용 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Uher, J. Bornemann, Uwe Rosenberg, "Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD", Artech House, 1993
- [2] G. Matthaei, L. Young, E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", Artech House Microwave Library, 1980
- [3] N. Marcuvits, "Waveguide Handbook", P. Peregrinus on behalf of the institution of Electrical Engineers, 2009
- [4] Ian Hunter, "Theory and Design of Microwave Filters", The Institution of Engineering and Technology, 2006
- [5] J.D. Rhodes, R. Levy, "A generalized multiplexer theory", IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, Vol. MTT-27, No. 2, pp. 99 ~ 111, Feb 1979
- [6] J. Helszajn, "Ridge Waveguide and Passive Microwave Components", The Institution of Electrical Engineering, 2000
- [7] Hui-Wen Yao, Amr E. Abdelmonem, Ji-Fuh Liang, Xiao-Peng Liang, Kawthar A. Zaki, Alain Martin, "Wide-Band Waveguide and Ridge Waveguide T-Junction for Diplexer Applications", IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, Vol. 41, No. 12, pp. 2166 ~ 2173, 1993
- [8] R. Garcia, F. Mayol, Jose M. Montero, A. Culebras, "Circular Polarization Feed with Dual-Frequency OMT-Based Turnstile Junction", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 53, No. 1, pp. 226 ~ 236, Feb 2011
- [9] Y. Tao, Z. Shen, G. Liu, "Dual-band Ortho-mode Transducer With Irregularly Shaped Diaphragm", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 27, pp. 1-8, 2011

저자 소개

음 정 희(준회원)



- 2011년 2월 : 단국대학교 전자공학과(공학사)
 - 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 단국대학교 대학원 전자전기공학과(공학석사)
 - 2013년 3월 ~ 현재 : (주) 하이게인안테나 연구원
- <주관심분야 : 안테나 및 전파전파>

송 충 호(준회원)



- 1996년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석 연구원

<주관심분야 : 위성통신 시스템 설계, 안테나 설계, 항공기 테이터링크 시스템 설계>

최 학 근(정회원)



- 1979년 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
 - 1981년 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
 - 1988년 : 고려대학교 전자공학과(공학박사)
 - 1991년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 전자공학과 교수
 - 2006년 7월 ~ 2012년 6월 : 단국대학교 공학교육혁신센터장
 - 2010년 7월 ~ 2012년 9월 : 단국대학교 공학대학장
 - 1989년 1월 ~ 현재 : (주) 하이게인 안테나 기술고문
 - 2012년 9월 ~ 현재 : 단국대학교 천안캠퍼스 부총장
- <주관심분야 : 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로>