세라믹을 이용한 유전체 도파관 듀플렉서

Dielectric Waveguide Duplexer Using Ceramic

장영수 · 김종철* · 김승완 · 이기진

Young-Soo Jang · Jong-Chel Kim* · Seung-Wan Kim · Kie-jin Lee

요 약

본 논문에서는 세라믹을 이용한 유전체 도파관 듀플렉서를 제안한다. 송신단과 수신단 대역 통과 필터를 설계한 후, 상호 간섭이 최소화되도록 결합하여 듀플렉서를 완성한다. 본 논문에서 제안한 안테나단 설계 방법으로는 분배기를 이용하여 투과 손실을 결정하고, 간섭을 피하기 위해 송수신 필터의 공진기 길이를 보정한다. 제작시 상대 유전율이 9.46인 세라믹을 이용하였으며, SMD 형태로 PCB에 표면 실장이 가능하도록 한다.

Abstract

Ceramic dielectric waveguide duplexer was developed. Duplexer was designed in order to minimize the muture interferences between transmission port and receive port of bandpass filter. The design method for antenna port was determined by the transmission loss and calibrated the length of resonator of recriving filter. We used the ceramic powder of dielectric constant 9.46 and installed SMD type on PCB board.

Key words : Dielectric, Waveguide, Filter, Duplexer, Ceramic

I. 서 론

무선 통신이 발달하면서 듀플렉서에서 요구되는 특성은 다양해진다. 높은 주파수와 뛰어난 주파수 선택성 및 SMD 형태 등이 요구된다. 현재 상용되고 있는 듀플렉서는 많은 부분을 만족하지 못하고 있다. 세라믹을 이용한 듀플렉서의 대표적인 형식은 $\lambda/4$ 전송선을 이용하여 TEM 모드로 구현되는 모노블록이다. 이는 상용되는 세라믹의 유전율을 감안한다면 공진 길이 때문에 4 GHz 전후까지 밖에 구현이 안 되고 있다. 또한, LTCC를 이용한 적층 형태의 듀플렉서는 주파수 선택성이 낮다. Air를 이용하는 도파관 듀플렉서는 SMD 형태가 불가하여 시스템에

적용시 비용이 상승된다. 이들의 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 세라믹을 이용한 $\lambda/2$ 스텝 임피던스 형태의 직접 결합 도파관 듀플렉서를 제안한다.

듀플렉서는 송신단 및 수신단 대역 통과 필터를 결합하여 설계되는데, 이 때 필터 사이의 상호 간섭을 억제하고, 보완하기 위해서는 송수신 주파수에서 입력 임피던스가 일정한 값을 갖도록 하여야 한다. 이를 위해 일반적으로 각 필터를 구성하는 소자의 설계를 수정 및 보완하고, 서셉터스 또는 리액터스 소자를 송수신 필터의 안테나단에 첨가하는 방법을 사용한다. 또는 안테나단에 높은 임피던스를 갖는 전송선을 첨가하여 두 필터를 결합함으로써 상호간의 간섭을 억제하는 방법을 사용하기도 한다^[1].

「본 논문은 지식경제부 부품소재 국제협력사업(CIS 과제)으로 지원된 연구임(N0000481).」

서강대학교 바이오융합과(Interdisciplinary Program of Intergrated Biotechnology, Sogang University)

*릿치마이크로웨이브(Ricci Microwave Co., Ltd.)

· Manuscript received June 17, 2013 ; Revised September 13, 2013 ; Accepted September 24, 2013. (ID No. 20130617-055)

· Corresponding Author : Kie-jin Lee (e-mail : klee@sogang.ac.kr)

본 논문에서는 분배기를 이용하여 송수신 주파수의 투과 손실을 최소화하고, 이를 안테나단의 구조와 일치하도록 시뮬레이션을 하였다. 최종적으로 간섭을 피하기 위해 안테나단과 연결되는 송수신 필터의 공진기 길이를 보정하였다.

II. 설 계

2-1 대역 통과 필터 설계

송수신 대역 통과 필터는 양 끝단이 저항으로 종단된 저역 통과 프로토타입 필터의 값들을 가지고 설계하였다. 그런 다음 임피던스 인버터를 활용하여 대역 통과 필터로 변환하였다^{[1][2]}. 도파관 구조로 변환하기 위해 모드 정합 방법으로 산란 행렬을 추출하였고, 각 단수의 투과 계수와 위상을 계산하여 공진기의 길이와 인덕티브 아이리스의 크기를 결정하였다^{[2]~[4]}.

본 논문의 목표는 듀플렉서이므로, 필터의 설계 과정은 참고문헌 [3]을 참조하였다. 사용된 공진기 단면의 크기는 16×8 mm로 정하였고, 유전율은 9.46으로 설정하였다^[3]. 표 1은 듀플렉서의 목표치이다.

표 1. 듀플렉서 목표치

Table 1. Duplexer target value.

	전기적 특성	
	Tx	Rx
중심 주파수(MHz)	5,350	5,670
대역폭(MHz)	80	80
삽입 손실(dB)	2.5	2.5
리플(dB)	0.5	0.5
반사 손실(dB)	10.0	10.0
감쇄 특성(dB)	60.0@Rx	60.0@Tx
임피던스	50 ohms	

표 2. 송신단 필터 투과 계수와 치수

Table 2. Tx filter S_{21} value and dimensions.

	1단	2단	3단	4단
S_{21} (dB)	-7.5	-21.7	-21.7	-7.5
위상(°)	154.8	175.1	175.1	154.8
길이(mm)	10.5	11.2	11.2	10.5
아이리스(mm)	5.4	6.8	6.8	5.4

표 3. 수신단 필터 투과 계수와 치수

Table 3. Rx filter S_{21} value and dimensions.

	1단	2단	3단	4단
S_{21} (dB)	-7.9	-22.7	-22.7	-7.9
위상(°)	156.0	175.5	175.5	156.0
길이(mm)	9.8	10.4	10.4	9.8
아이리스(mm)	5.6	6.9	6.9	5.6

표 2, 3은 최종적으로 설계된 송신단과 수신단 대역 통과 필터의 투과 손실과 공진기의 길이 및 아이리스의 크기이다. 상대 대역의 감쇄 특성을 고려하여 4단의 체비셰프 함수를 사용하였다.

(a) 구조도

(a) Structure

(b) 송신단 결과

(b) Tx result

(c) 수신단 결과

(c) Rx result

그림 1. 분배기 구조 및 반사 손실 결과
Fig. 1. Divider & reflection loss result.

2-2 안테나단 설계

그림 1과 같이 분배기를 이용하여 송수신 필터가 분리될 수 있도록 설계하였다. 분배기 단면의 크기는 16×8 mm로 정하였고, 유전율은 9.46으로 설정하였다. 물리적으로 대칭 구조의 3포트를 이용하여 각각의 투과 손실을 확인하였다. 송수신 전체 주파수인 5,310~5,710 MHz의 범위에서 반사 손실이 최소 (-20 dB 이하)가 되는 투과 손실은 -0.65 dB이었다. 이를 이용한 결과, 송신단의 길이는 6.78 mm이고, 수신단의 길이는 6.62 mm이었다.

SMD 형태로 변환하기 위해서는 안테나단의 형태를 변경해야 한다. 즉, 그림 2와 같이 PCB에 실장될 수 있도록 하기 위해 narrow wall에 존재하는 안테나 단자를 wide wall로 위치를 변경해야 한다. 이 때 그림 2(a)의 h 를 가변하여 분배기의 투과 손실인 -0.65 dB와 일치하도록 시뮬레이션을 반복하여야 한다. h 의 최종 길이는 4.40 mm이었다.

그림 2. 안테나단 구조도 및 결과
Fig. 2. Antenna port structure & result.

Ⅲ. 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램은 HP사의 HFSS 5.4를 사용하였으며, 상대 유전율은 9.46으로 설정하였으며, Q 값은 1,400으로 설정하였다.

3-1 송수신 대역 통과 필터 시뮬레이션

송수신단 대역 통과 필터는 계산된 값이 수렴하도록 반복 시뮬레이션을 통하여 결과를 얻었다.

그림 3. 필터 시뮬레이션
Fig. 3. Filter simulation.

(a) 구조도
(a) Structure

(b) 결과
(b) Result

그림 4. 듀플렉서 시뮬레이션
Fig. 4. Duplexer simulation.

3-2 듀플렉서 시뮬레이션

안테나단의 최종 치수를 송수신 대역 통과 필터에 연결하여 듀플렉서를 시뮬레이션 하였다. 이 때 안테나단과 연결되는 송수신 필터의 공진기는 간섭을 피하기 위해 길이를 보정하였다.

IV. 제작 및 측정 결과

듀플렉서 제작에 사용된 세라믹 파우더는 일본 KCM사의 Kyorix 시리즈인 HF-9(SD)를 사용하였다. 외부 도체는 은을 사용하여 프린팅 기법으로 도포하였고, 은의 두께는 10~15 μm 이고, 880℃에서 10분 유지 시간으로 소성하였다. 접합은 무연납을 이용하였다.

측정은 Agilent사의 8722ES 모델인 Network Analyzer를 사용하였다.

우리는 듀플렉서의 모든 매개 변수를 가지고, HF-SS를 사용하여 설계하였다. 즉, 5 GHz 대역의 듀플렉서를 세라믹을 이용하여 도파관 형태로 설계하였

(a) 치수(단위: mm)
(a) Dimension(units: mm)

(b) 사진
(b) Picture

(c) 측정 그래프
(c) Measurement graph

그림 5. 송신단 필터
Fig. 5. Tx filter.

표 4. 송신단 필터 목표치 및 측정 결과

Table 4. Tx filter target value & measurement result.

	전기적 특성	
	목표치	결 과
중심 주파수(MHz)	5,350	
대역폭(MHz)	5,310~5,390	
삽입 손실(dB)	2.0	1.33
리플(dB)	0.5	0.30
반사 손실(dB)	12.0	14.5
감쇄 특성(dB)	55.0@Rx	56.1@Rx
임피던스	50 ohms

(a) 치수(단위: mm)
(a) Dimension(units: mm)

(b) 사진
(b) Picture

(c) 측정 그래프
(c) Measurement graph

그림 6. 수신단 필터

Fig. 6. Rx filter.

표 5. 수신단 필터 목표치 및 측정 결과

Table 5. Rx filter target value & measurement result.

	전기적 특성	
	목표치	결 과
중심 주파수(MHz)	5,670	
대역폭(MHz)	5,630 ~ 5,710	
삽입 손실(dB)	2.0	1.29
리플(dB)	0.5	0.33
반사 손실(dB)	12.0	14.9
감쇄 특성(dB)	55.0@Tx	59.7@Tx
임피던스	50 ohms

(a) 치수(단위: mm)
(a) Dimension(units: mm)

(b) 사진
(b) Picture

(c) 측정 그래프
(c) Measurement graph

그림 7. 듀플렉서

Fig. 7. Duplexer.

표 6. 듀플렉서 측정 결과

Table 6. Duplexer measurement result.

	전기적 특성	
	Tx	Rx
중심 주파수(MHz)	5,350	5,670
대역폭(MHz)	80	80
삽입 손실(dB)	2.40	1.98
리플(dB)	0.25	0.33
반사 손실(dB)	10.5	12.7
감쇄 특성(dB)	63.5@Rx	62.2@Tx
임피던스	50 ohms	

다. 제작된 듀플렉서의 결과는 HFSS의 시뮬레이션

결과와 일치함을 알 수 있었고, 목표치에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 세라믹을 이용한 유전체 도파관 듀플렉서에 대한 연구를 하였다. 상대 유전율 9.46을 이용하여 설계 제작하였으므로 수치적으로는 기존 air를 이용하는 도파관 듀플렉서에 비해 $\sqrt{9}$ 만큼 크기를 소형화 할 수 있으나, 세라믹 고유의 loss를 감안한다면 대략 20 % 정도 축소가 가능하다. 또한, SMD 형태로 PCB에 표면 실장이 가능하도록 하였다.

본 논문에서 소개된 세라믹을 이용한 유전체 도파관 듀플렉서는 제작이 용이하며, 표면 실장이 가능함으로 중계기 등에 사용이 편리하다.

References

- [1] 강중윤, "이동 통신용 일체형 유전체 듀플렉서에 관한 연구", 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사학위논문, 1999년.
- [2] 박성수, "40 GHz대 아이리스형 도파관 대역통과 필터의 설계", 충남대학교 전파공학과 석사학위논문, 2003년.
- [3] 김종철, 장영수, 김승완, 이기진, "DWFD 프로그램을 이용한 3차원 적층 유전체 세라믹 도파관 필터의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 24 (5), pp. 515-524, 2013년 5월.
- [4] N. Marcuitz, *Waveguide Handbook*, Boston Technical Publisher, Inc., 1964.
- [5] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filter, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, McGraw-Hill, Inc., 1964.

장 영 수

1999년 2월: 한남대학교 물리학과 (이학사)
2003년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 3월~현재: 서강대학교 바이오융합과 박사과정
[주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 근접 장 현미경 등

김 승 완

2001년 2월: 서울산업대학교 재료공학과 (공학사)
2006년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
2012년 2월: 서강대학교 바이오융합과 (공학박사)
2012년 10월~현재: 서강대학교 기초과학연구소 전임연구원
[주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 바이오센서 등

김 중 철

1987년 2월: 서강대학교 물리학과 (이학사)
1989년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
2013년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학박사)
2006년 5월~현재: (주)릿치마이크로웨이브 대표이사
[주 관심분야] RF 유전체 필터 및 마이크로파 근접장 현미경 등

이 기 진

1986년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학사)
1989년 2월: 서강대학교 물리학과 (이학석사)
1992년 8월: 서강대학교 물리학과 (이학박사)
1994년 4월~1995년 10월: 일본 쓰쿠바대학교 물질공학계 조수
1995년 11월~1999년 8월: 일본 동경공업대학교 응용물리학과 조수
1999년 9월~현재: 서강대학교 물리학과 교수
[주 관심분야] RF 소자, 마이크로파 근접장 현미경, 마이크로파 바이오센서 및 OLED 등