DBpia

論 文

비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 인접대역 다이플렉서의 구현

正會員 金 亨 植* 正會員 文 勝 燦* 正會員 尹 賢 普*

Design and implementation of a contiguous-band diplexer using asymmetrical coupled microstrip lines.

Hyeong Sik Kim*, Seung Chan Moon*, Hyun Bo Yoon* *Regular Members*

요 약

단일종단 저역통과 필터의 설계이론을 기초로 비대칭으로 결합된 마이크로스트립 선로를 사용하여 X-band용 인접대역 다이플렉서를 실현시켰다. 중심주파수 9,11 GHz에서 채널 1과 2의 대역폭을 각각 22%와 18%로 설계하였고 SuperCompact을 이용하여 최적화하였다. 측정결과 통과 대역폭과 인접하는 채널의 차단대역에서 감쇄특성은 설계값과 잘 일치하였으나 삽입손실에서 0.5dB 정도의 차이가 있었다.

Abstract

An X-band contiguous band diplexer is realized by using asymmetrical coupled microstrip lines. The design is based on the singly terminated low pass prototype filter and optimized by using SuperCompact.

The designed channel 1 and channel 2 bandwidth is 22% and 18% respectively, where the center frequency is 9,11 GHz.

The measured results of the fabricated diplexer are in good agreement with the designed ones, but the measured insertion loss is slightly highier(0.5dB) than those of the designed value.

I. 서 론

위성방송 및 위성통신용 송수신기에서 사용되는 멀티플렉서는 채널을 결합 또는 분리하여 원하는 주파수 대역에서 전송손실을 최소로하여 소신호 전송을 극대화하도록 설계하여야 한다.

최근 통신위성에서 처리하여야 할 정보가 늘어남에 따라 통신용량을 증가시키기 위해서 현재 사용중인 비인접 대역 멀티플렉서에 비해서 스팩트럼 효율을 5%정도 증가시킬 수 있는 인접 대역 멀티플렉서

* 東國大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering Dongguk University
論文番號 : 93 - 168

www.dbpia.co.kr

에 관한 연구가 활발히 진행되고있다[1,2]. 또한 위성통신에서는 좁은 guard 대역을 갖는 광대역 다이플렉서가 통신대역을 확장시키기 위해서 요구되기도 한다[3].

그러나 두개의 대역통과 필터로 구성된 인접대역 다이플렉서는 통과대역폭이 1%미만으로 좁다는 단점이 있다[4].

마이크로스트립 선로를 이용한 저전력 필터는 소형, 경량이기 때문에 MIC화가 가능하다는 장점을 갖고있다.

반파장 전송선로 공진기를 이용한 대역통과 필터는 단락회로가 없으나 중심주파수의 2배 또는 3배에서 2차 대역통과 현상이 나타나는 단점이 있다[5].

길이가 λ/4인 결합선로를 이용한 대역통과 필터는 단락회로가 없고 낮은 삽입손실과 저렴한 가격으로 쉽게 제작할 수 있기 때문에 가장 일반적으로 이용된다[6].

비대칭 결합 선로를 두 선로로 폭과 간격을 조정함으로써 임피던스 변환과 정합이 용이하다는 장점을 갖고 있다[7].

본 논문에서는 Chebyshev 응답특성을 이용하여 인접하는 채널의 통과대역에서 최적한 roll-off 특성을 갖는 X-band용 인접 대역 다이플렉서를 넓은 통과대역을 갖는 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 사용하여 설계제작 측정하였다.

마이크로스트립 선로폭을 0.1mm까지 제작이 가능한 사진 감광법으로 정밀하게 제작한 다이플렉서의 측정 결과는 8.9.73GHz, 10.3-12GHz의 통과대역에서 약 1.2±0.15dB 정도의 낮은 삽입손실, 약 600MHz의 guard 대역과 인접하는 차단대역에서 10dB 이상의 감쇄특성을 얻어, SuperCompact으로 시뮬레이션한 설계 결과와 일치함을 확인하였다.

Ⅱ. 다이플렉서의 설계

Ⅱ-Ⅰ 다이플렉서의 구성

그림1은 서로 다른 중심 주파수를 갖고 있는 대역통과 필터로 구성된 다이플렉서이다.

두 대역통과 필터가 병렬로 연결되었을 경우, 접합면에서 불연속 효과로 인한 서셉턴스 B가 나타난다. 접합면에서 바라본 어드미턴스 Y_T는

$$Y_T = jB + Y_1 + Y_2 \qquad (1)$$

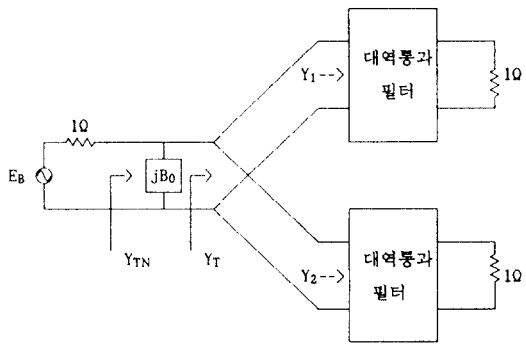


그림 1. 병렬 연결 대역통과 필터
Fig 1. Parallel connected bandpass filter

이다.

어드미턴스 Y_T의 허수부를 상쇄시키기 위해서 서셉턴스 제거회로 B_0를 병렬로 연결하여 입력에서 바라본 어드미턴스 $Y_{TN} = Y_1$가 된다[8].

따라서 총입력 어드미턴스 Y_{TN}는

$$Y_{TN} = Y_1 + Y_2 \qquad (2)$$

이다.

다이플렉서를 구성하고 있는 대역통과 필터는 입력 어드미턴스의 실수부가 필터 전송특성과 같도록 그림2와 같이 단일 종단 저역통과 필터로 설계할 수 있다. 여기서 $g_{n(n=0,1,2,\cdots,n)}$는 저역통과 소자값이며, Y_T는 접합면에서 바라본 어드미턴스이다.

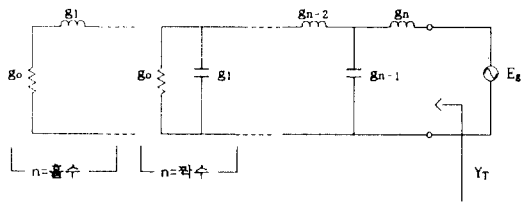


그림 2. 단일 종단 저역통과 필터
Fig 2. Singly terminated low pass filter

Ⅱ-Ⅱ 비대칭 결합 선로를 사용한 대역통과 필터의 설계 및 시뮬레이션

그림3(a)는 비대칭 결합 선로이며, 전기적 길이 θ

www.dbpia.co.kr

를 갖는 C-모드와 Π-모드에서 특성 임피던스는 Z_C, $Z\pi$와 같고, 전기적 길이, 선로의 특성 임피던스 Z_0와 임피던스 변환기 파라미터 K을 이용하여 그림3(b)와 같은 등가회로로 그릴 수 있다.

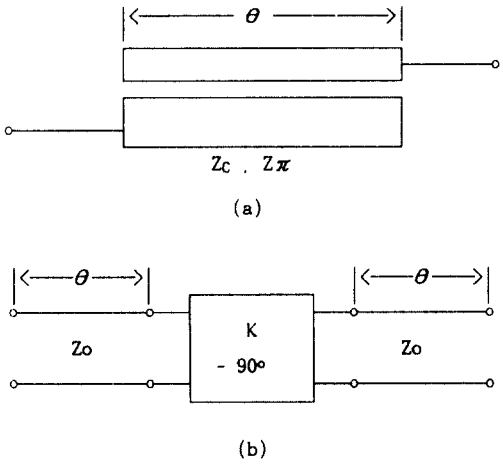


그림 3. 비대칭 평행 결합 선로(a)와 등가회로(b)
Fig 3. Asymmetrical parallel coupled lines(a) and equivalent circuit(b)

그림3(b)의 등가회로에 대한 ABCD 행렬식은

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ_o\sin\theta \\ j\dfrac{\sin\theta}{Z_o} & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -jK \\ \dfrac{-j}{K} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ_o\sin\theta \\ j\dfrac{\sin\theta}{Z_o} & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

이다.

$\theta=\pi/2$인 경우, 비대칭 결합 선로에 대한 C-모드와 Π-모드의 정규화 임피던스 Z_C/Z_0와 $Z\pi/Z_0$에 관한 관계식은

$$\frac{Z_C}{Z_0} = 1 + \frac{Z_o}{K} + \frac{Z_o^2}{K^2} \quad (4\text{-a})$$

$$\frac{Z\pi}{Z_O} = 1 - \frac{Z_o}{K} + \frac{Z_o^2}{K^2} \quad (4\text{-b})$$

이다.

n개 공진기 대역통과 필터에서 소자값 g_j, 상대 대역폭 ω와 어드미턴스 변환기 파라미터 $J_{j,j+1}$ 간의 관계는 대역통과 필터에서 아래와 같다[9].

1) 첫번째 결합 section

$$\frac{J_{01}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi\omega}{2g_0g_1}} \quad (5\text{-a})$$

2) 중간 결합 section

$$\frac{J_{j,j+1}}{Y_0}\bigg|_{j=1,n-1} = \frac{\pi\omega}{2\omega c\sqrt{g_j\,g_{j+1}}} \quad (5\text{-b})$$

3) 끝부분의 집합 section

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi\omega}{2g_ng_{n+1}}} \quad (5\text{-c})$$

각 section의 C-모드와 Π-모드 특성 임피던스와 어드미턴스 변환기 파라미터 간의 관계를

$$(Zc)_{j,j+1} = Zo\,(1 + aZo + a^2Zo^2) \quad (6\text{-a})$$

$$(Z\pi)_{j,j+1} = Zo\,(1 - aZo + a^2Zo^2) \quad (6\text{-b})$$

로하면, n개 공진기 대역통과 필터의 기능을 얻을 수 있다. 여기서 $a=J_{j,j+1}$이고, Zo는 선로의 특성임피던스이다.

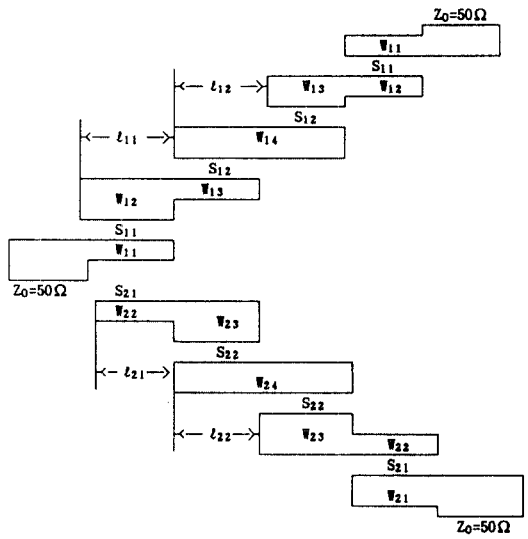


그림 4. 인접대역 다이플렉스
Fig 4. Contiguous band diplexer

www.dbpia.co.kr

비대칭으로 결합된 대역통과 필터[10]를 사용하여 Chebyshev응답 공진기수(n)를 3개, 리플 0.5dB, 중심 주파수는 각각 9 GHz, 11 GHz 및 대역폭 2 GHz인 인접대역 다이플렉서의 실현이 가능하며 그 구조는 그림4와 같다.

식(4)-(6)를 이용하여 비대칭 결합 선로의 폭, 간격및 모드 특성임피던스를 계산하였고 SuperCompact를 이용하여 최적화한 값을 표1에 나타내었다.

표 1. 계산값과 최적값
Table 1. Calculated value and optimized value

	계		산	값			
통과대역	8-10 Ghz			통과대역	10-12 GHz		
Z_C	68.48	Z_C	63.29	Z_C	70.1	Z_C	58.6
$Z\pi$	43.0	$Z\pi$	41.91	$Z\pi$	46.1	$Z\pi$	45.35
W_{11}	0.9	W_{13}	1.03	W_{21}	0.85	W_{23}	1.10
W_{12}	0.1	W_{14}	0.1	W_{22}	0.10	W_{24}	0.15
S_{11}	0.1	S_{12}	0.12	S_{21}	0.1	S_{22}	0.13
ℓ_{11}	5.472	ℓ_{12}	5.453	ℓ_{21}	4.468	ℓ_{22}	4.46
	최		적	값			
W_{11}	0.85	W_{13}	0.97	W_{21}	0.85	W_{23}	1.20
W_{12}	0.12	W_{14}	0.12	W_{22}	0.12	W_{24}	0.20
S_{11}	0.15	S_{12}	0.21	S_{21}	0.14	S_{22}	0.22
ℓ_{11}	5.90	ℓ_{12}	5.87	ℓ_{21}	4.85	ℓ_{22}	4.82

여기서 마이크로스트립 결합 선로는 불연속 특성과 분산특성[11]을 고려하여 설계하였고, 시뮬레이션 결과를 그림5에 나타내었다.

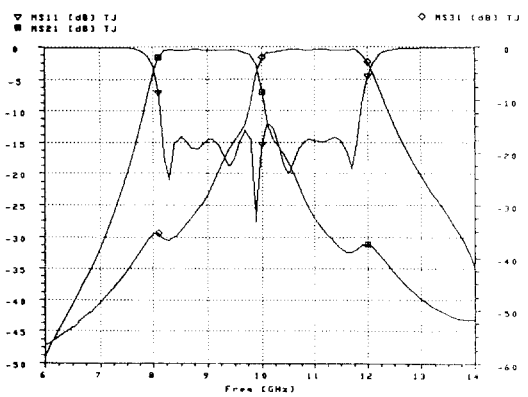


그림 5. 시뮬레이션 결과
Fig 5. Simulation result

인접대역 다이플렉서를 비유전율이 2.52, 유전체의 두께가 0.504mm, 동박의 두께는 0.018mm이고 loss tan δ=0.003인 테프론 기판을 이용하여 단일기판위에 마이크로스트립 선로를 사용하여 사진 부식법에 의해 제작하였다.

실제 제작에 사용한 유화 필름을 1:1 크기로 그림6에 나타내었다.

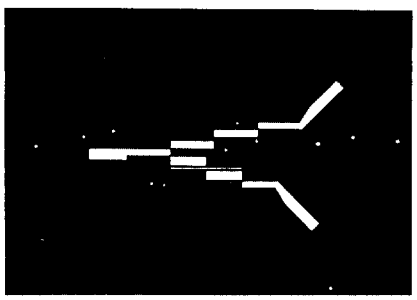


그림 6. 인접대역 다이플렉서의 유화필름
Fig 6. Contiguous band diplexer film

Ⅲ. 측정 및 결과 검토

비대칭으로 결합된 대역통과 필터를 사용하여 X-band용 인접대역 다이플렉서를 제작하여 HP 8722A

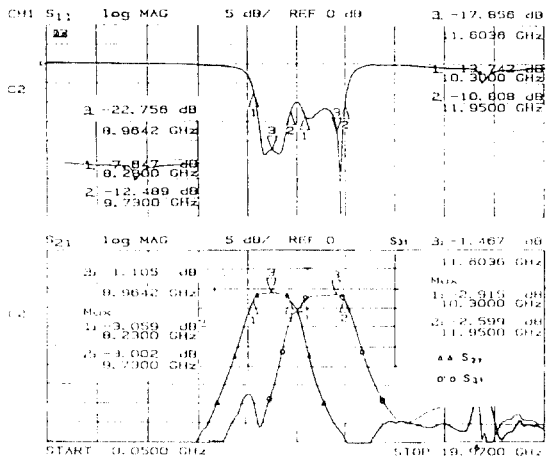


그림 7. 반사손실(S_{11})과 전달특성(S_{21}, S_{31})
Fig 7. Forward reflection (S_{11}) and forward transmission(S_{21}, S_{31})

www.dbpia.co.kr

Network Analyzer로 측정한 결과를 그림7에 나타내었다. 측정 주파수 범위는 0.05-20 GHz이며, 시뮬레이션 결과와 측정결과를 표2에 비교하여 보였다.

표 2. 시뮬레이션 결과와 측정결과의 비교
Table 2. The comparison of the measured results with the simulation results

항 목	시뮬레이션 결과	측정 결과
대역폭	8-10 GHz 10-12 GHz	8-9.73 GHz 10.3-12 GHz
삽입손실	0.7 ± 0.1 dB 0.7 ± 0.1 dB	1.2 ± 0.15 dB 1.3 ± 0.12 dB
반사 손실	17 dB 이하 17 dB 이하	22 dB 이하 12 dB 이하
교차주파수	9.8 GHz	10 GHz
교차주파수 삽입손실	3 dB	5 dB
guard 대역	400 MHz	600 MHz

시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교하면 삽입손실을 제외한 특성에 있어서 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 삽입손실이 시뮬레이션 결과와 비교하여 오차가 있는 것은 두 대역통과 필터의 첫번째 결합 section에서 결합 선로길이의 차이로인한 손실과 선로 사이의 좁은 간격을 실현시키는데 한계가 있어 비롯된 것으로 보여진다.

Ⅳ. 결 론

넓은 통과대역을 얻기 위해서 비대칭으로 결합된 마이크로스트립 선로를 X-band용 인접대역 다이플렉서구성에 사용하였다.

각각 3개의 공진기를 사용하여 중심주파수 9.11 GHz를 갖는 인접대역 다이플렉서를 설계 제작하여 측정한 결과 8-9.73 Ghz, 10.3-12.3 GHz의 통과 대역에서 약 1.2 ± 0.15 dB 정도의 낮은 삽입손실과 12 dB 이상의 반사손실, 6% guard대역 및 인접하는 교차주파수에서 5 dB의 삽입손실을 얻었다.

통과 대역폭은 설계값과 실측값이 잘 일치하였으나 삽입손실에는 차이가 있었다. 이 차이는 제조방법을 개선한다면 해결될 것으로 믿는다.

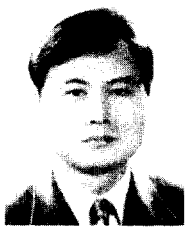
본 논문은 상공부의 공업기반기술사업의 기술개발결과입니다.

참 고 문 헌

1. Chandra M.Kudsia, "A Decade of Communications Satellite Payload Innovations," 3th Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp.411-416, Tokyo, 1990.
2. C.Kudisa, R.Cameron, W.C.Tang, "Innovations in Microwave Filters and Multiplexer Metworks for Communications Satellits Systems," IEEE Tran.MTT.Vol.4., No.6, pp.1133-1149, Jun. 1992.
3. Y.Isota et al., "An Iris-Type Contigous-Band Manifold Diplexer with Coupling Slots at Filter Input," 3th Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp.403-405, Tokyo, 1990.
4. M.H.Chen, F.Assal and C.Mahle, "A contiguous band multiplexer," COMSAT Tech.Rev., Vol.6, No.2, pp.285-306, Fall.1976.
5. S.B.Cohn, "Parallel coupled transmission line resonator filter," IRE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-6, pp.223-232, April, 1958.
6. B.J.Minnis, "Printed circuit coupled line filters for bandwidths upto and greater than an octave," IEEE Trans., Microwave Theory and Tech., Vol.MTT-29, No.1, pp.215-222, March, 1981.
7. V.K.Tripathi, "Properties and application of asymmetrical coupled line structures in a inhomegeneous media," in proc, 5th Eur. Microwave Conf., Hamburug, pp.278-282, 1975.
8. E.G.Cristal, G.L.Matthaei, "A Technique for the Design of Multiplexers having Contiguous Channel," IEEE Trans. MTT., pp.88-93, Jan. 1964.
9. G.L.Mattaei, L.Young, and E.M.T.Jones, "Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structure" New York, McGraw-Hill, 1964.

www.dbpia.co.kr

10. 윤현보, 문승찬, 최원영, "비대칭으로 결합된 마이크로스트립 선로를 이용한 대역통과 필터의 설계" 한국통신학회지, 93-4 Vol.18 No.4, pp. 585-590, 4월 1993.
11. Gupta.K.C, easter.B, "Some result on the end effects of microstrip line," IEEE Trans, Microwave Theory and Tech., Vol.MTT 18, No. 1. pp.616-626, Jan.1970.



金 亨 植(Hyeong Sik Kim) 정회원
1954년 12월 20일생
1981년 2월 : 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1984년 2월 : 동국대학교 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사)
1991년 2월 : 동국대학교 전자공학과 박사수료
현재 : 동국대학교 전산원 전임강사

文 勝 燦(Seung Chan Moon) 정회원
1961년 7월 15일생
1985년 2월 : 호서대학교 통신공학과 졸업(공학사)
1987년 2월 : 동국대학교 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사)
1991년 3월 ~ 현재 : 동국대학교 전자공학과 박사과정

尹 賢 普(Hyun Bo Yoon) 정회원
1942년 1월 5일생
제18권 제4호 참조
현재 : 동국대학교 공과대학 전자공학과 교수

www.dbpia.co.kr