
집중 소자를 이용한 다이플렉서 설계 및 제작

박용욱*

Design and Fabrication of Diplexer using Lumped Elements

Yong-Wook Park*

요약

본 논문에서는 신호 분리와 합성이 가능한 다이플렉서를 설계 제작한 후 특성을 비교 분석하였다. 저역 통과 필터와 고역 통과 필터의 특성을 정합하여 다이플렉서로 구현함으로써 신호의 분리와 합성이 가능하다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 신호 분리와 합성의 가능성을 입증하기 위해 실제 마이크로 스트립 구조로 제작하여 측정한 결과 다이플렉서의 저역통과 필터는 -0.4 dB의 삽입손실과 -30 dB의 반사손실, 1.6 GHz의 차단수파수 특성을 보였고 고역 통과 필터는 -0.8 dB의 삽입손실과 약 -30 dB의 반사손실, 1.9 GHz의 차단수파수 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, the diplexer used a separator or a combine of signals was designed and its characteristics were investigated. The diplexer consists of two fixed tuned bandpass filter such as low pass filter(LPF) and high pass filter(HPF) sharing a common part and was simulated. The diplexer with micro-strip structure was fabricated. The LPF of diplexer has insertion loss of -0.4 dB, return loss of -30 dB and 1.6 GHz cut-off frequency and HPF has insertion loss of -0.8 dB, return loss of -30 dB and 1.9 GHz cut-off frequency, respectively.

키워드

Diplexer, Low pass filter, High pass filter, Microstrip, Insertion loss
다이플렉서, 저역 통과 필터, 고역 통과 필터, 마이크로스트립, 삽입손실

1. 서론

위성통신은 국제통신뿐만 아니라 국내통신 및 이동통신 등에서 사용 범위가 점차 확대되고 있고 다양한 위성통신 서비스가 국내에서도 제공되고 있다. 즉, 다변화된 무선통신 서비스의 운용에 따라 무선통신 시스템을 구성하는 기지국 또는 중계기용 고주파 부품은 고성능, 경량화, 소형화 등의 소자 특성과 함께 우수한 재현성 및 가격 특성 등을 만족해야 한다. 그러

나 반도체 회로 및 회로기술의 발전에 따라 중계기와 송수신 단말장치의 소형화는 진행되고 있으나 안테나를 비롯한 급전부의 소자는 아직도 소형, 경량화 등이 요구되고 있는 분야이다. 특히, 다이플렉서(diplexer)는 신호 분리용 부품으로 송신단과 수신단 사이에 높은 격리도 특성을 가지면서 안테나 단자와 연결되어 있어, 송신 전력이 수신기에 영향을 미치지 못하면서 한 개의 안테나로 송·수신을 겸용하기 위해 필요한 고주파 핵심 소자로 송신용 고전력 필터와 수신용 저

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과 (pyw@nsu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 10. 30

심사(수정)일자 : 2011. 12. 05

게재확정일자 : 2011. 12. 22

손실 필터가 결합되어 안테나에 직접 연결된다[1-4]. 다이플렉서는 3포트 수동소자로서 하나의 공동 포트와 두 개의 입력(또는 출력) 포트를 가지며 그 구성은 두 개의 필터와 이를 연결시켜주는 결합 구조로 되어 있다. 두 개의 필터는 각각 저역통과 필터, 고역통과 필터, 대역통과 필터와 대역저지 필터의 적절한 조합으로 이루어지며, 결합구조는 두 개의 필터가 서로 각 필터의 특성에 영향을 미치지 않도록 만들어진다. 결과적으로 다이플렉서는 공동 포트와 입력(또는 출력) 포트 사이에 각기 다른 주파수 대역을 갖는 두 개의 채널을 갖는다[5-7]. 이와 같은 다이플렉서는 일반적으로 통과 대역내의 우수한 삽입손실(Insertion Loss) 특성과 공동 포트에서의 좋은 반사손실(Return Loss) 특성, 높은 포트의 분리도, 다른 고주파 소자와의 결합성 및 높은 신뢰도를 요구하고 있다.

본 논문에서는 신호의 상호 분리를 위해 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 접합함으로써 우수한 삽입손실과 저지 대역 특성을 갖는 다이플렉서를 RF 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 설계를 하였고 설계된 다이플렉서를 테프론 기판($\epsilon_r=3.2$, $h=0.7874\text{mm}$) 사용하여 마이크로스트립 형태로 제작한 후 특성을 비교 분석하였다.

II. 다이플렉서 설계

본 논문에서는 설계하고자 하는 마이크로 스트립 형태의 다이플렉서의 통과 대역 특성은 감쇠특성이 우수한 Chebyshev Polynomial을 이용하여 필터를 설계하였다. Chebyshev 필터의 전달 함수는 아래 식 (1)과 같고, $C_n(\omega)$ 의 값은 ω 의 값에 따라 식(2)로 표현된다.

$$|S_{21}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 C_n^2(\omega)}} \quad (1)$$

$$C_n(\omega) = \cos(n \cos^{-1} \omega) ; 0 \leq \omega \leq 1 \quad (2)$$

$$C_n(\omega) = \cosh(n \cos^{-1} \omega) ; \omega \geq 1$$

Chebyshev 필터의 응답 함수는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(\omega) = -20 \log \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 C_n^2(\omega)}} \right] \quad (3)$$

$$= 10 \log 1 + \epsilon^2 \cosh^2 [n \cosh^{-1}(\omega)] \omega > 1 \text{ dB}$$

식 (3)에서 단수 n에 의해 감쇠량이 결정되며 리플은 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$G_r = 1 - \frac{1}{(1 + \epsilon^2)^{1/2}} \quad (4)$$

$$= 10 \log(1 + \epsilon^2) \text{ dB}$$

본 논문에서 원하는 필터의 감쇠 특성을 얻기 위한 필터의 단수는 식 (5)로 표현된다.

$$n = \cosh^{-1} \left[\frac{(10^{L(\omega)/10} - 1)/\epsilon^2}{(10^{G_r/10} - 1)^{1/2}} \right] \quad (5)$$

$$= \frac{\cosh^{-1} \left[\frac{(10^{L(\omega)/10} - 1)/(10^{G_r/10} - 1)^{1/2}}{\cosh^{-1}(\omega)} \right]}{\cosh^{-1}(\omega)}$$

다이플렉서는 일반적으로 두 채널의 멀티플렉서이다. 위에서 설명한 필터의 설계 특성을 이용하여 신호 분리형 필터인 다이플렉서를 등가회로로 표현하면 그림 1과 같이 π 형 회로구조를 갖는 저역대역 통과 필터와 T형 회로의 고역대역 통과 필터가 정합된 회로

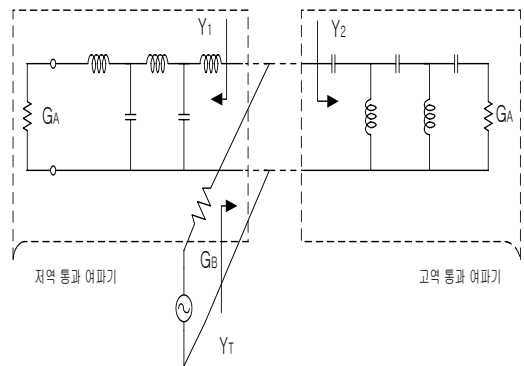


그림 1. 다이플렉스 등가 회로
Fig. 1 Equivalent circuit of diplexer

터와 T형 회로의 고역대역 통과 필터가 정합된 회로

로 나타낼 수 있다. 즉, 다이플렉서를 설계하기 위해 필터 특성함수를 집중 정수 소자인 L, C를 이용하여 시뮬레이션 프로그램으로 모델링하여 우수한 신호 분리 특성을 갖는 다이플렉서를 그림 1과 같은 등가회로로 구현할 수 있다. 다이플렉서는 그림 1과 같이 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 정합함으로써 신호를 분리하는 역할을 한다. 고역 통과 필터는 저역 통과 필터와는 반대로 C를 직렬 소자로, L을 병렬 소자로 하여 구현할 수가 있다. 또한 삽입손실과 감쇠특성은 단수를 조정하여 특성을 만족시키도록 하고 비교적 제작이 용이한 마이크로스트립 형태로 다이플렉서를 설계하였다. 본 논문에서는 -0.5dB의 삽입손실과 -30 dB 이상의 반사손실특성 및 1.6 GHz의 차단주파수를 갖도록 π 형 회로를 갖는 저역대역 통과 필터를 설계하였다. 또한 고역대역 통과 필터는 -0.5dB의 삽입손실, -30dB 이상의 반사손실과 1.9 GHz의 차단주파수를 갖는 T형 고역대역 통과 필터를 RF 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 필터를 설계 각각 설계하고 설계된 저역 대역 필터와 고역대역 필터를 정합하여 신호 분리를 수행 할 수 있는 다이플렉서를 설계하였다.

III. 시뮬레이션 및 제작

본 논문에서는 앞에서 설명한 설계 이론을 바탕으로 각각의 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 설계하였다. 저역 통과 필터는 1.6GHz의 차단주파수, 고역 통과 필터는 1.9GHz의 차단주파수를 갖도록 설계하였다. 또한 앞에서 설명한 차단주파수 이상의 저지대역에서 우수한 감쇠 특성 즉, -0.5dB 이하의 값을 갖도록 하기 위해 시뮬레이션 결과를 통하여 11단으로 필터를 설계하고 RF 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 필터의 특성을 분석하였다. 또한 이를 정합하여 다이플렉서의 주파수 응답특성을 비교 분석하였다. -0.5dB의 삽입손실과 -30 dB 이상의 반사손실특성 및 1.6 GHz의 차단주파수특성을 갖는 저역 통과 필터에 사용된 π 형 회로 각 단자의 소자 값은 표 1과 같고, 그림 2는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

표 1. 저역 통과 필터의 소자 값
Table 1. Element values of LPF

Element	Value
$C_1 = C_{11}$	1.64 pF
$L_2 = L_{10}$	7.2 nH
$C_3 = C_9$	3.64 pF
$L_4 = L_8$	8.67 nH
$C_5 = C_7$	3.89 pF
L_6	8.88 nH

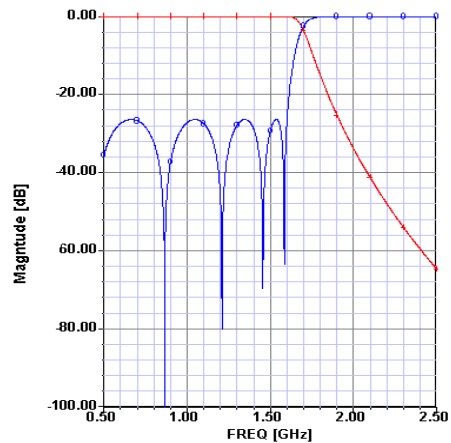


그림 2. 저역 통과 필터 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Simulation result of LPF

시뮬레이션 결과에서 확인 할 수 있듯이 11단으로 설계된 저역 통과 필터의 특성은 1.6 GHz의 차단주파수를 가지며 통과대역의 삽입손실은 무손실이며 통과대역의 리플특성도 매우 우수한 것을 확인할 수 있고 반사손실 특성 역시 약 -30dB 이상의 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 1.9 GHz의 차단주파수 값을 가지는 고역 통과 필터는 T형의 구조로 설계하였고 저역통과 필터와 같이 11단의 구조로 설계하여 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 T형 회로의 각 단의 소자 값은 표 2와 같고, 그림 3은 고역 통과 필터의 주파수 특성을 보여주고 있다.

표 2. 고역 통과 필터의 소자 값
Table 2. Element values of HPF

Element	Value
$L_1 = L_{11}$	5.09 nH
$C_2 = C_{10}$	1.16 pF
$L_3 = L_9$	2.28 nH
$C_4 = C_8$	0.96 pF
$L_5 = L_7$	2.14 nH
C_6	0.94 pF

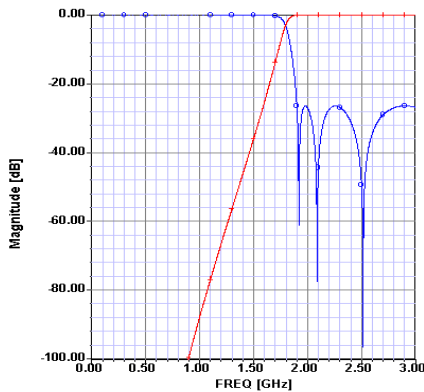


그림 3. 고역 통과 필터 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation result of HPF

설계된 고역통과 필터는 설계 목표인 1.9 GHz의 차단주파수를 가지며 통과대역의 삽입손실과 리플특성 또한 우수하며 반사손실 특성 역시 매우 우수한 것을 알 수 있다. 위에서 설명한 저역 통과 필터 및 고역 통과 필터의 설계를 바탕으로 다이플렉서를 설계하였다. 표 3과 그림 4은 각각 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 병렬 정합한 다이플렉서의 소자 값과 대역 통과 특성을 나타낸 것이다. 여기서 저역 통과 필터와 고역 통과 필터의 차단 병렬 소자를 소거한 이유는 정합하는 과정에서 차단 병렬 소자들에 의해 다이플렉서의 특성이 변형되는 것을 제거하기 위함이다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 마이크로 스트립 구조를 갖는 다이플렉서를 MCX Series 테프론 기판($\epsilon_r=3.2$, $h=0.7874\text{mm}$)을 사용하여 제작하였다. 그림 5는 실제 제작한 다이플렉서의 사진을 보여주고 있다. 그림

표 3. 다이플렉스의 소자 값
Table 3. Diplexer element values

LPF element	value	HPF element	value
C_{11}	1.64 pF	L_{11}	5.09 nH
$L_2=L_{10}$	7.2 nH	$C_2=C_{10}$	1.16 pF
C_3	3.64 pF	$L_3=L_9$	2.28 nH
$L_4=L_8$	8.67 nH	$C_4=C_8$	0.96 pF
$C_5=C_7$	3.89 pF	$L_5=L_7$	2.14 nH
L_6	8.88 nH	C_6	0.94 pF

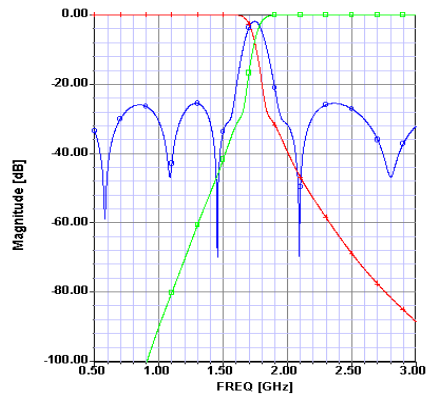


그림 4. Diplexer 시뮬레이션 특성
Fig. 4 Simulation result of diplexer

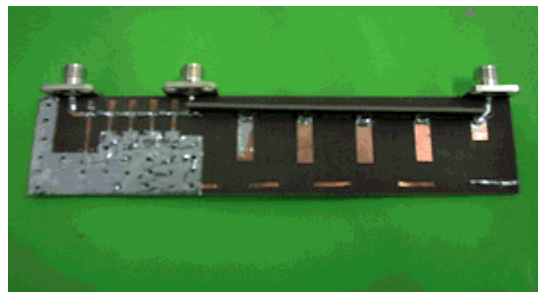
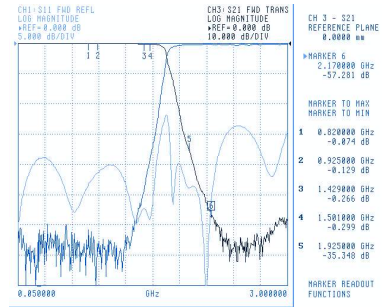


그림 5. Diplexer 사진
Fig. 5 Photo of fabricated diplexer

6은 제작한 다이플렉서의 측정된 주파수 응답 특성을 보여주고 있다. 그림 6(a)의 저역통과 필터의 특성에서 확인할 수 있듯이 제작된 다이플렉서의 저역통과 필터는 -0.4dB 의 삽입손실과 -30dB 의 반사손실, 1.6

GHz의 차단수파수를 갖는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 특성은 시뮬레이션 결과와 비교하면 차단수파수 특성은 설계값과 일치하며 삽입손실 및 반사손실 특성도 설계 목표 값을 만족하였다. 또한 그림 6(b)에서 보여준 고역통과 필터의 주파수 특성에서 제작된 고역 통과 필터는 -0.8dB 의 삽입손실과 약 -30dB 의 반사손실, 1.9GHz 의 차단수파수 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 제작된 고역 통과 필터의 경우 삽입손실은 설계 목표값보다 약간 증가하였지만 차단수파수 및 반사손실 특성은 매우 우수하여 설계값을 만족하였다. 이처럼 삽입손실이 약간 증가한 것은 실제 제작한 L, C 소자의 값을 정확하게 물리적으로 구현할 수가 없는 점과 시뮬레이션에서는 실제 환경적인 요소를 정확하게 해석하기에는 한계가 있기 때문으로 생각된다. 그러나 아주 우수한 다이플렉서 특성을 보여주었다. 그림 6(C)는 다이플렉서의 주파수 응답 특성을 보여주며 우수한 신호 분리 특성을 가지는 것을 알 수 있다.



(c) Diplexer

그림 6. Diplexer의 신호 분리 특성
Fig. 6 Frequency response of fabricated diplexer

IV. 결론

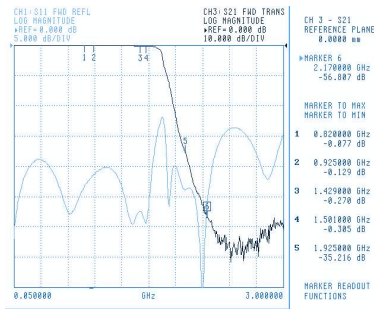
본 논문에서는 신호 분리와 합성이 가능한 마이크로스트립형태의 다이플렉서를 설계 제작하였다. 저역 통과 필터와 고역 통과 필터의 특성을 정합하여 마이크로스트립구조의 다이플렉서를 구현함으로써 얻을 수 있는 신호의 분리와 적은 삽입손실, 우수한 저지대역 감쇠 특성을 가지는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 또한 제작된 다이플렉서의 저역통과 필터는 -0.4dB 의 삽입손실과 -30dB 의 반사손실, 1.6GHz 의 차단수파수 특성을 보였고 고역 통과 필터는 -0.8dB 의 삽입손실과 약 -30dB 의 반사손실, 1.9GHz 의 차단수파수를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

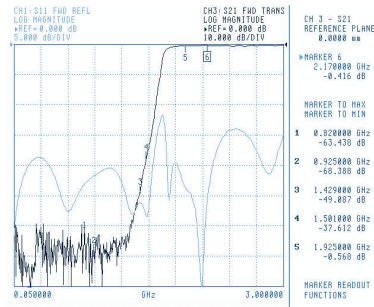
[1] M. S. Uhm, J. S. Lee, D. K. Baek, B. I. Yom, and S. P. Lee, "Ka band waveguide diplexer using E-plane T-junction with inductive iris", *APMC-2002*, Vol. 1, pp. 508-511, 2002.

[2] K. L. Wu, H. Wang, "A rigorous modal analysis of H-plane waveguide T-junction loaded with a partial-height post for wide-band applications", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol. 49, No. 5, pp. 893-901, May 2001.

[3] J. M. Rebollar, J. R. Montejo-Garai, "Asymmetric H-plane T-junction for broadband



(a) LPF



(b) HPF

- diplexer applications", IEEE APS, Vol. 4, pp. 2032-2035, 2000.
- [4] A. F. Sheta et al., "Miniature Microstrip Stepped Impedance Resonator Bandpass Filter and Diplexer for Mobile Communications", IEEE MIT-S Digest, pp. 607-610, 1996.
- [5] A. A. Kirilenko, S. L. Senkevich, V. I. Tkachecho, and B. G. Tysik, "Waveguide Diplexer and Multiplexer Design", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 32, No. 7, pp. 1393-1396, 1994.
- [6] D. M. Pozar "Microwave Engineering", Addison Wesley, pp. 494-500, 1990.
- [7] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling Structures", Artech House, pp. 991-998, 1980.
- [8] 이승재, 윤중환, 이진우 "휴대 단말 주파수 대역에서 동작하는 차량용 안테나 설계", 한국전자통신학회논문지, 6권, 3호, pp. 337-341, 2011.
- [9] 윤광렬, "복합형 구조에서의 전자파전파 특성", 한국전자통신학회논문지, 6권, 3호, pp.343-348, 2011.
- [10] 유재덕, 신현식, "동아시아횡단 해저케이블 고장 분석을 통한 보호방안", 한국전자통신학회논문지, 5권, 3호, pp. 227-232, 2010.

저자 소개



박용욱(Yong-Wook Park)

1989년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1991년 8월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1999년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

2000년 9월~현재 : 남서울대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : RF 디바이스, 센서