

비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 능동 다이플렉서의 구현

(Design and Implementation of Active Diplexer Using Asymmetrical Coupled Microstrip Lines)

尹賢普* · 文勝燦* · 崔元晔**

(Hyun Bo YOON* · Seung Chan MOON* · Won Young CHOI**)

요 약

비대칭 결합선로를 이용한 대역통과 필터와 MESFET으로 구성되는 능동 다이플렉서를 실현하였다. 여기서 비대칭 결합 마이크로스트립 선로의 어드미턴스 인버터 파라미터는 대역통과 필터의 기본적인 설계 파라미터에 대한 함수로서 주어진다.

능동 다이플렉서는 중심주파수 9 GHz와 11 GHz에서 각각 대역폭 22%와 18%로 설계하였고, Super-compact를 이용하여 설계값을 최적화하였다.

실험 결과 8.3~9.6 GHz와 10.3~11.8 GHz의 각대역에서 6.2 ± 0.3 dB의 균일한 이득을 얻었고, 이 결과는 대역폭은 잘 일치하나 이득은 설계값보다 1.5 dB 정도의 차이가 있었다.

Abstract

An active diplexer can be realized by using a MESFET and 2-sections of asymmetrical coupled bandpass filter, where the admittance inverter parameters in equivalent circuit of asymmetrical coupled microstrip lines are given as a function of a fundamental design parameter of a bandpass filter.

An experimental active diplexer was designed over 22 and 18 percent bandwidth centered at 9 GHz and 11 GHz respectively, and the design data was optimized by Super-Compact.

The gain performance was 6.2 ± 0.3 dB in each band of 8.3~9.6 GHz and 10.3~11.8 GHz.

The measured bandwidth of the active diplexer was closely matched to design data but measured gain was slightly lower (1.5 dB) than the designed value.

I. 서 론

* 정희원 동국대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Engineering DongGuk Univ.)

** 준희원, 에이스 안테나

최근 통신 시스템에서 처리하여야 할 정보가 늘어남에

따라 통신용량을 증가시키고, 채널을 분리 또는 결합하기 위해서 멀티플렉서가 사용되고 있는데 멀티플렉서 중에서 두개의 채널을 다루는 경우가 다이플렉서이다.

통신용량을 증가시키기 위해서 현재 대부분의 위성에 사용되고 있는 비(非)인접대역 멀티플렉서에 비해서 스펙트럼 효율을 5%정도 증가시킬 수 있는 인접대역 멀티플렉서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2].

또한 위성통신에서는 좁은 guard 대역을 갖는 광대역 다이플렉서가 통신대역을 확장시키기 위해서 요구되기도 한다[3].

본 논문에서는 두 선로의 폭과 간격을 조정하므로써 임피던스 변환과 정합이 용이하고 광대역 특성을 가지는 비대칭 결합 마이크로스트립 선로[4]를 이용한 X-band용 인접대역 다이플렉서에 MESFET를 결합시켜 2개의 출력을 얻을 수 있는 능동 다이플렉서를 구현하였다.

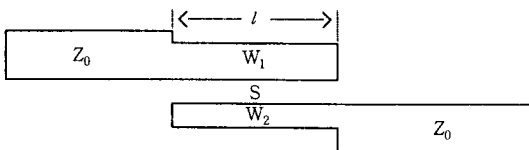
Chebyshev 응답 특성을 이용한 X-band에서 첨예한 roll-off 특성과 고이득을 갖는 능동 다이플렉서를 설계하고 Supercompact으로 최적화하였다.

제작된 능동 다이플렉서의 측정 결과 게이트전압 0 V, 드레인전압 0.8 V를 인가했을때, 8.3~9.6 GHz와 10.3~11.8 GHz 대역에서 약 6.2 ± 0.3 dB 정도의 평탄한 이득을 얻었고, 약 7%의 guard 대역과 인접 차단 대역에서 약 11 dB 정도의 격리특성을 얻었다.

II. 증폭기의 설계

2-1. DC 블럭

광대역 특성을 가지는 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 DC 블럭으로 사용하였다[5].



[그림 1] DC 블럭의 구조.

[Fig. 1] The configuration of a DC block.

비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 DC 블럭은 중심주파수 10 GHz에서 설계하였고, 구조와 계산값을 [그림 1]과 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> DC 블럭구조 parameter의 계산값.

<Table 1> Calculated parameter values of a structural parameters of a DC block.

| | |
|-------|-------------|
| Z_0 | 50 Ω |
| W_1 | 0.25 mm |
| W_2 | 0.13 mm |
| S | 0.13 mm |
| l | 4.75 mm |

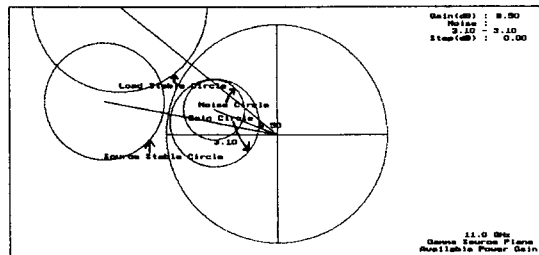
2-2. 증폭기의 정합회로 구성

일반적으로 보상 정합회로는 주파수에 대한 $|S_{21}|$ 의 변화를 상쇄하기 위해 입·출력 회로를 부정합(mismatching)시켜 광대역 증폭기를 설계하는데 이용된다[6].

증폭기는 중심주파수 11 GHz, 이득 8.5 dB로 설계하였다.

입·출력단의 정합회로를 구성하기 위한 Smith 차트 이용을 [그림 2]에 나타내었다.

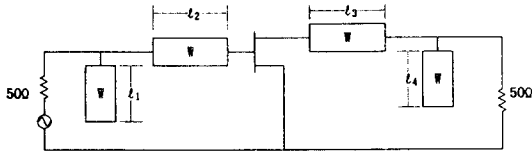
11 GHz에서는 무조건 안정이므로 입력 반사계수 $\Gamma_s = 0.7 < 131^\circ$ 와 출력반사계수 $\Gamma_L = 0.5 < 139^\circ$ 를 선택하여 입·출력 정합회로를 구성하였다.



[그림 2] Smith 차트를 이용한 증폭기의 입·출력 정합회로 설계.

[Fig. 2] Design of input and output matching network for an amplifier using the Smith chart.

[그림 3]은 증폭기의 입·출력 정합회로 구조이며, 계산값은 <표 2>에 나타내었다.



[그림 3] 설계된 증폭기의 구조.

[Fig. 3] Designed amplifier circuit structure.

<표 2> 증폭기의 계산값.

<Table 2> Calculated values of an amplifier parameter.

| | |
|-------|----------|
| W | 1.43 mm |
| l_1 | 3.271 mm |
| l_2 | 2.482 mm |
| l_3 | 2.162 mm |
| l_4 | 3.127 mm |

Ⅲ. 다이플렉서

3-1. 대역통과 필터의 설계

그림 4(a)는 비대칭 결합 선로[7]이며, 전기적 길이 θ 를 갖는 C-모드와 Π -모드의 특성 임피던스는 Z_c , Z_π 로 나타냈고, 전기적 길이 및 선로의 특성 임피던스 Z_0 와 어드미턴스 변환기 파라미터 J를 이용하여 그림 4(b)와 같은 등가회로로 그릴 수 있다.

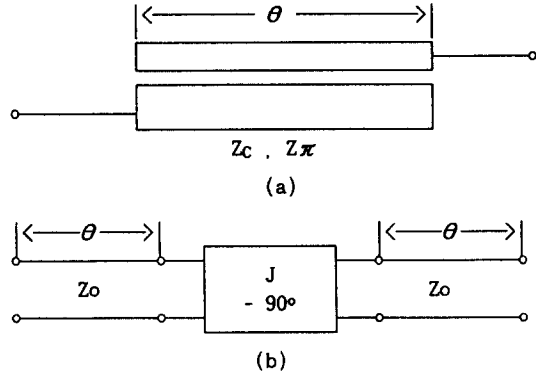
비대칭 결합 선로에 대한 C-모드와 Π -모드의 정규화 임피던스 Z_c/Z_0 와 Z_π/Z_0 에 관한 관계식은

$$\frac{Z_c}{Z_0} = 1 + jZ_0 + j^2 Z_0^2 \quad (1a)$$

$$\frac{Z_\pi}{Z_0} = 1 - jZ_0 + j^2 Z_0^2 \quad (1b)$$

이다.

그림 5는 비대칭 결합 선로를 이용하여 대역통과 필

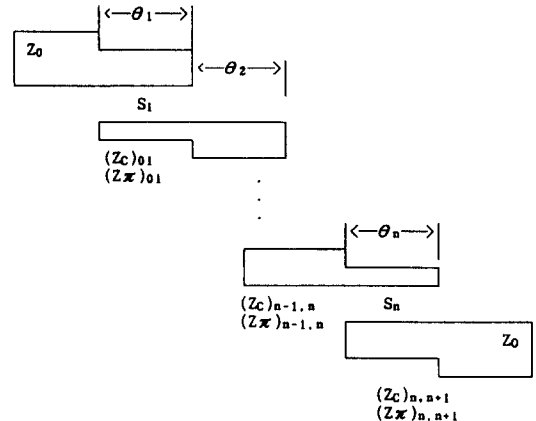


[그림 4] 비대칭 평행 결합 선로에 관한 등가회로.

[Fig. 4] Equivalent circuit for asymmetrical parallel coupled lines.

터를 구성하고자 제안한 그림이다.

각 section에서의 전기적 길이, C-모드와 Π -모드의 특성 임피던스 및 간격을 각각 θ_j , $(Z_c)_{j-1,j}$, $(Z_\pi)_{j-1,j}$, S_j 로 나타내었다.



[그림 5] 비대칭 평행 결합 대역통과 필터 구조.

[Fig. 5] Asymmetrical parallel coupled bandpass filter structure.

n개 공진기 대역통과 필터에서 소자값 g, 상대 대역폭 ω 와 어드미턴스 변환기 파라미터 $J_{j,j+1}$ 간의 관계는 대역통과 필터에서 다음과 같다[8].

1) 첫번째 결합 section

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

2) 중간 결합 section

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

3) 끝부분의 결합 section

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi\omega}{2g_n g_{n+1}}} \quad (2c)$$

[그림 5]에서 각 section의 C-모드와 II-모드 특성 임피던스와 어드미턴스 변환기 파라미터 간의 관계를

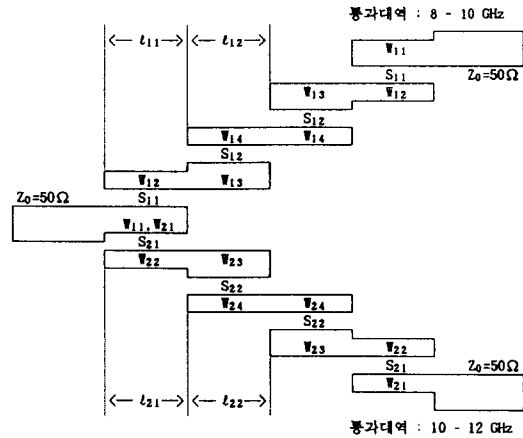
$$(Z_c)_{j,j+1} = Z_0 (1 + aZ_0 + a^2Z_0^2) \quad (3a)$$

$$(Z_\pi)_{j,j+1} = Z_0 (1 - aZ_0 + a^2Z_0^2) \quad (3b)$$

로하면, n개 공진기 대역통과 필터의 기능을 얻을 수 있다. 여기서 $a = J_{j,j+1}$ 이고, Z_0 는 선로의 특성임피던스이다.

3-2. 다이플렉서의 구성

Chebyshev 응답 공진기수는 각각 $n=3$, 리플 0.2 dB로 설계하였다. 중심주파수 9 GHz에서 정규화 대역폭이 22%이고, 중심주파수 11 GHz에서 정규화 대역폭 18%인 대역통과 다이플렉서에 관한 비대칭 마이크로 스트립 선로 결합의 구조는 [그림 6]와 같으며, 대역통과 다이플렉서의 계산값과 Supercompact를 이용한 최적값을 <표 3>에 나타내었다.



[그림 6] 대역통과 다이플렉서의 구조.

[Fig. 6] The configuration of a bandpass diplexer.

여기서 마이크로스트립 결합 선로는 불연속 특성과 분산특성[9]을 고려하여 설계하였다.

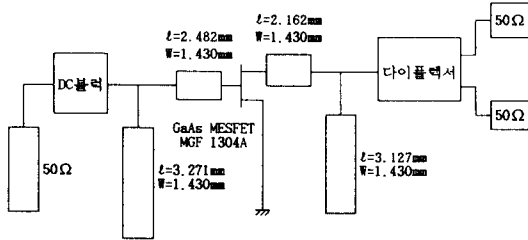
<표 3> 대역통과 다이플렉서의 계산값과 최적값.

<Table 3> Calculated values and optimized values of a bandpass diplexer.

| 통과대역 | 계 산 값 | | | | | | |
|----------|------------|----------|-------|----------|-------------|----------|-------|
| | 8 ~ 10 GHz | | 통과대역 | | 10 ~ 12 GHz | | |
| Z_c | 68.14 | Z_c | 62.96 | Z_c | 70.10 | Z_c | 58.62 |
| Z_π | 43.93 | Z_π | 41.83 | Z_π | 46.10 | Z_π | 45.35 |
| W_{11} | 0.90 | W_{13} | 1.03 | W_{21} | 0.85 | W_{23} | 1.10 |
| W_{12} | 0.10 | W_{14} | 0.10 | W_{22} | 0.10 | W_{24} | 0.15 |
| S_{11} | 0.10 | S_{12} | 0.12 | S_{21} | 0.10 | S_{22} | 0.13 |
| l_{11} | 5.472 | l_{12} | 5.453 | l_{21} | 4.468 | l_{22} | 4.465 |
| 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 |

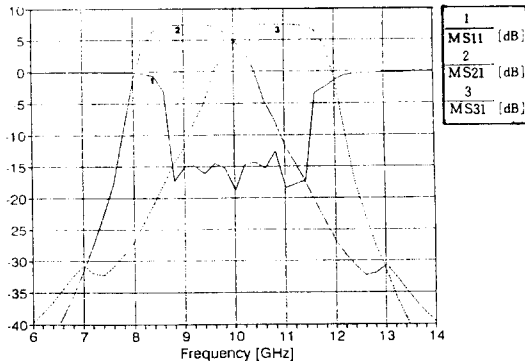
IV. 시뮬레이션 및 제작

GaAs MESFET MGF 1304A를 사용한 능동 다이플렉서의 구조는 [그림 7]와 같으며, Supercompact을 이용한 전달특성(MS_{21} , MS_{31})과 반사계수(MS_{11})의 시뮬레이션 결과를 [그림 8]에 나타내었다.



[그림 7] 능동 다이플렉서 회로의 구조.

[Fig. 7] An active diplexer circuit configuration.



* 전달특성(MS_{21} , MS_{31})과 반사계수(MS_{11})

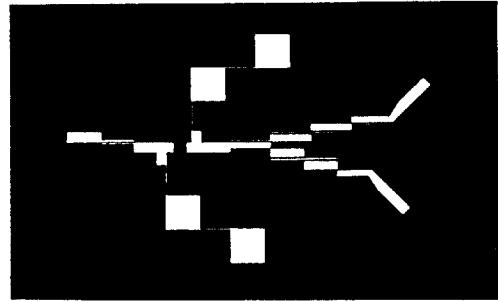
[그림 8] 능동 다이플렉서의 산란계수들에 대한 주파수 특성의 시뮬레이션.

[Fig. 8] Simulation frequency characteristics of scattering parameters of an active diplexer.

능동 다이플렉서는 비유전율 2.52, 유전체의 두께 0.504mm, 동박의 두께 0.018mm, loss $\tan \delta = 0.003$ 인 테플론 기판을 사용하여 단일 기판위에 마이크로스트립 선로를 사용하여 사진 부식법에 의해 제작하였다.

실제 제작에 사용한 음화 필름을 1:1 크기로 [그림

9]에 나타내었다.



[그림 9] 능동 다이플렉서에 대한 음화 필름.

[Fig. 9] The negative film of an active diplexer circuit.

V. 측정 및 결과 검토

제작된 능동 다이플렉서는 HP 8722A Network Analyzer로 측정하여 [그림 10]에 나타내었다.

마이크로스트립 선로 기판의 면적을 줄이기 위해 소오스단의 접지는 기판을 뚫어서 소오스 리드를 기판과 접지면 사이에 밀착시켜 제작하였다.

측정 주파수 범위는 0~20 GHz이며, 게이트전압 0 V, 드레인전압 0.8 V를 인가하여 측정한 결과 8.3~9.6 GHz와 10.3~11.8 GHz 대역에서 6.2 ± 0.3 dB의 평탄한 이득과, 두 통과대역 사이의 guard 대역폭 7%, VSWR 1.9, 한 통과대역의 3 dB 점에서 다른 통과대역과의 격리특성은 약 11dB 정도를 얻었다.

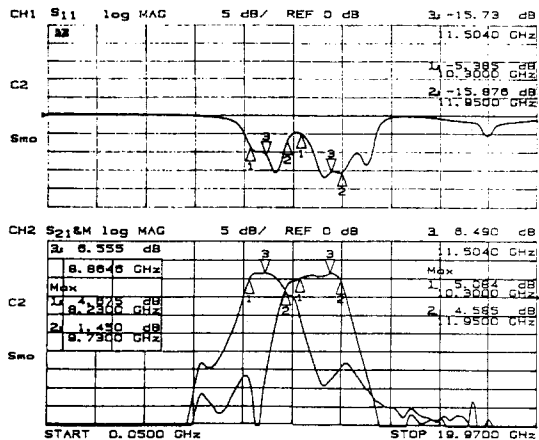
수동 다이플렉서의 유사한 연구결과와 비교해 보면, Y. Isota는 도파관 다이플렉서[3]를 설계하여 중심주파수 0.975 GHz와 1.03 GHz에서 통과대역이 4%일때 guard 대역폭 0.8%, 삽입손실 0.5 dB, VSWR 1.2, 격리특성은 약 20 dB이었다.

또다른 연구로서 Chi-Yang Chang는 9.8~10.23 GHz 대역에서 2 ± 1 dB의 이득을 얻은 end-coupled 필터 구조를 이용한 능동필터[10], S.E.Sussman-Fort는 유전체공진기(DR)를 이용하여 3.96-4 GHz 대역에서 1.5 ± 0.7 dB의 이득을 얻은 DR 능동필터[11], B.

Jarry는 집중소자 하이브리드 형태로 구성하여 5.5~6.5 GHz 대역에서 7.5 ± 0.8 dB 이득을 얻은 능동 대역 통과 필터[12]를 설계하였다.

본 연구 결과는 이들의 연구 결과와 비교하였을 때 보다 대역이 넓고 평탄한 이득을 갖는 양호한 결과로 볼 수 있다.

그러나, 시뮬레이션과 측정된 결과를 비교할 때 이득과 대역에서 약간의 오차가 있는 것은 소오스 접지에서 기생 성분인 인덕턴스가 생기고, 에칭할 때에 선로 사이의 좁은 간격을 실현시키는데 한계가 있어서 비롯된 것으로 보여진다. 이것은 기생 인덕턴스 값을 고려하고, 에칭 방법을 개선한다면 향상될 것으로 예측된다.



[그림 10] 능동 다이플렉서의 주파수에 따른 반사손실(S_{11})과 전달특성(S_{21})

[Fig. 10] Forward reflection (S_{11}) and forward transmission (S_{21}) of an active diplexer.

VI. 결 론

다중화 회선에서 사용할 수 있는 넓은 통과대역과 높은 이득을 갖는 X-band 능동 다이플렉서를 광대역 특성을 갖는 비대칭 결합 마이크로스트립선로로 설계하였다.

DC 블럭은 높은 주파수에서 넓은 대역을 가질 수 있

도록 비대칭 결합 마이크로스트립 선로를 이용하였다.

각각 3개의 공진기를 사용하여 중심주파수 9,11 GHz에서 정규화 대역폭을 각각 22%, 18%인 대역통과 다이플렉서를 설계하여, 전단에 증폭기를 달아 측정하였다.

측정 결과 게이트전압 0 V, 드레인전압 0.8 V를 인가했을 때 8.3~9.6 GHz와 10.3~11.8 GHz 대역에서 6.2 ± 0.3 dB 정도의 평탄한 이득을 얻었고, 7%의 guard 대역과 인접 차단대역에서 11 dB 정도의 격리 특성을 얻었다.

참 고 문 헌

1. Chandra M.Kudisia, "A decade of communications satellite payload innovations," 3rd Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp. 411-416, Tokyo, 1990.
2. C. Kudisia, R.Cameron, W.C.Tang, "Innovations in Microwave Filters and Multiplexer Networks for Communications Satellite Systems," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 40, No. 6, pp. 1133-1149, Jun. 1992.
3. Y. Isota et al., "An iris-type contiguous-band manifold diplexer with coupling slots at filter input," 3rd Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp. 403-405, Tokyo, 1990.
4. V.K. Tripathi, "Properties and application of asymmetrical coupled line structures in an inhomogeneous media," in Proc, 5th Eur. Microwave Conf., Hamburg, 1975, pp. 278-282.
5. S.S.Bedair, "Characteristics of some asymmetrical coupled transmission lines," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-32, No. 1. Jan. 1984.
6. G.Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Disign," Prentice-Hall, Inc. 1984.
7. 윤현보, 문승찬, 최원영, "비대칭으로 결합된 마이

- 크로스트립 선로를 이용한 대역통과 필터의 설계”, 한국통신학회지, 93-4 Vol. 18 No. 4 pp. 585-590, 1993.
8. G.L.Matthaei, L.Young, and E.M.T.Jones, “Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures,” New York, McGraw-Hill, 1964.
 9. Gupta,K.C, Easter,B, “Some results on the end effects of microstrip line,” IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-18, No. 1. pp. 616-626, Jan. 1970.
 10. Chi-Yang Chang and Tatsuo Itoh, “Microwave Active Filters Based on Coupled Negative Resistance Method,” IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 38. No. 12, pp. 1879-1884, December 1990.
 11. S.E.Sussman-Fort, “A Realization of a GaAs FET Microwave Active Filters,” IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. Vol. 38. No. 10, pp. 1524-1526, October 1990.
 12. B. Jarry et al., “Three-pole dielectric resonators microwave bandpass active filter,” IEE Proceedings-H, Vol. 139, No. 2, pp. 205-207, April 1992.

본 논문은 상공부의 공업기반기술사업의 기술개발결과입니다.
