

논문 2008-45TC-3-11

マイクロストリップ 선로 형태의 디플렉서

(A Diplexer of Microstrip Transmission Lines)

박 일*

(Yhl Park)

요 약

본 논문에서는 마이크로스트리ップ선의 전송선로 특성을 이용하여 5선으로 선간 간격의 폭을 조정한 값으로 시뮬레이션하여 디플렉서 특성을 구하고 이를 실현하였다. 제작한 디플렉서를 실험한 결과 기존의 균등한 선간 간격 배열 구조에서의 특성보다 선간 간격을 각기 다르게 한 경우 통과 대역에서 평탄 특성이, 저지 대역에서는 감쇠량이 약 15dB 이상 개선되었음을 확인하였다.

Abstract

Transmission line characteristics in microstrip line is used to in this paper. 5-microstrip lines composed of various spacing between them suggests characteristics of a diplexer in simulation. By applying the simulation results, the diplexer realized shows better results of flat responses in bandpass characteristics and bandstop characteristics around 15 dB than symmetric spacing one.

Keywords : scattering parameters, equivalent admittance, optimum impedance

I. 서 론

복수 마이크로스트리립 선로는 제작이 용이하고 차단 주파수가 높고 광대역으로 구성할 수 있는 이점이 있다. 결합기로는 Lange 결합기^[1]가 대표적이다. 결합기의 경우 마이크로스트리립 선로 개수를 늘려서 밀 결합을 얻을 수 있으나 6선 이상이 되면 거의 영향이 없다^[2]. 이상의 방법들은 인접 선로가 정전 용량만을 고려하고 인덕턴스 성분은 무시 하였다.

Tripaphi^[3]는 복수 선로에 관한 모드 특성 임피던스 등을 분석하였고 이미던스를 구하는 방법은 준-TEM에서 Lee^[4]가 제시하였다. 이러한 복수 선로의 입출력 포트의 선로 정합은 Chin^[5]이 매질에서 최대 분리도를 유지하는 재정규화 방법을 발표 하였다. 대역 소거 여파

기는 전송모드가 모두 동일한 경우^[6~7], 다른 경우^[8~12]의 연구 및 실험 결과가 있다.

결합기와 소거 여파기 기능을 4포트로 실현한 예로 Cohn^[13] 등이 있다. 5선 4포트로 제시한 Park^[14]의 연구에서는 Tripaphi^[3], Lee^[4]의 방법을 이용하여 선로 개수에 따른 행렬식을 생성시켜서 수치 해석을 자동화 하고 여기서 등가 어드미턴스를 구하였다. 시뮬레이션 결과로 실험한 규격은 선간 간격, 선폭이 각기 동일한 경우 그 특성이 저지 특성에서 20dB에 미치지 못하였다. 본 논문에서는 5선의 각 선간 간격을 조정하여 소거 기능의 감쇠량을 35dB 정도, 통과 대역을 광대역으로 확장 시킨 개선된 결과를 얻었다.

II. 본 론

1. 5선로 4포트

그림 1과 같은 5선을 배열하여 구성된 10포트에서 각 단자의 전류와 전압을 I , V 행렬, 해당 어드미턴스 Y 행렬로 놓으면

정회원, 동양공업전문대학 무선정보통신과
(Dept.of Radio Comm, Dongyang Jr. Tech. College)
※ 본 연구는 동양공업전문대학 2007학년도 교내 학술 지원 연구비에 의하여 수행 되었습니다.
접수일자: 2008년1월11일, 수정완료일: 2008년3월19일

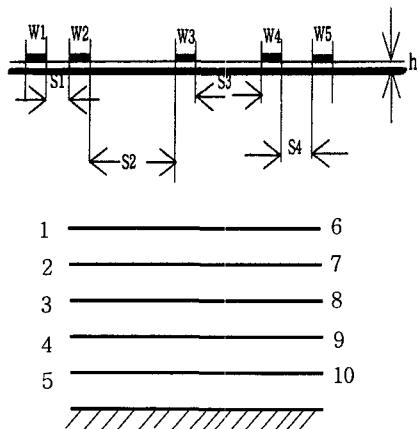


그림 1. 5마이크로스트립선 10포트 단면과 배열
Fig. 1. Cross section and array of 5-microstrip line 10-port.

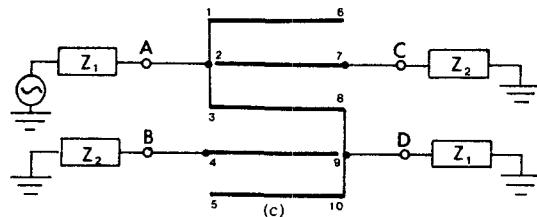


그림 2. 5선 4포트 구성
Fig. 2. 5-microstrip lines 4-ports.

$$I = YV \quad (1)$$

여기서 I, V 는 10행인 열벡터이고, Y 는 10×10 인 행렬이 된다.

그림 2와 같이 4포트로 구성하면 각 포트 단자에서 전압, 전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_A &= I_1 + I_3, \quad I_B = I_4, \quad I_C = I_7, \quad I_D = I_8 + I_{10}, \\ I_2 &= I_5 = I_6 = I_9 = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} V_A &= V_1 = V_3, \quad V_B = V_4, \\ V_C &= V_7, \quad V_D = V_8 = V_{10} \end{aligned}$$

N선로4포트의 등가 어드미턴스 Y_e 는 Park^[14]의 결과

$$Y_p = \begin{bmatrix} Y_{11} + Y_{13} + Y_{31} + Y_{33} & Y_{14} + Y_{34} & Y_{17} + Y_{37} & Y_{18} + Y_{110} + Y_{38} + Y_{310} \\ Y_{41} + Y_{43} & Y_{44} & Y_{47} & Y_{48} + Y_{410} \\ Y_{71} + Y_{77} & Y_{74} & Y_{77} & Y_{78} + Y_{710} \\ Y_{81} + Y_{83} & Y_{84} & Y_{87} & Y_{88} + Y_{810} + Y_{108} + Y_{1010} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y_q = \begin{bmatrix} Y_{12} + Y_{32} & Y_{15} + Y_{35} & Y_{16} + Y_{36} & Y_{19} + Y_{39} \\ Y_{42} & Y_{45} & Y_{46} & Y_{49} \\ Y_{72} & Y_{75} & Y_{76} & Y_{79} \\ Y_{82} + Y_{102} & Y_{85} + Y_{105} & Y_{86} + Y_{106} & Y_{89} + Y_{109} \end{bmatrix} \quad (9)$$

로 다음과 같다

$$Y_e = Y_p - Y_q \cdot Y_r^{-1} Y_t. \quad (3)$$

포트 A, B, C, D에서 각기 전류노드 집합을 $\Sigma I_{i,j,k,l}$ 이라하고, 전압 노드를 각기 $V_{i,j,k,l}$, 포트 외의 단자 전압을 $V_{p,q,r,s}$ 이라 할 때, 포트 단자 간 어드미턴스 행렬 Y_p ;

$$Y_p = \begin{bmatrix} \sum \sum Y_{ii} \sum \sum Y_{ij} \sum \sum Y_{ik} \sum \sum Y_{il} \\ \sum \sum Y_{ji} \sum \sum Y_{jj} \sum \sum Y_{jk} \sum \sum Y_{jl} \\ \sum \sum Y_{ki} \sum \sum Y_{kj} \sum \sum Y_{kk} \sum \sum Y_{kl} \\ \sum \sum Y_{li} \sum \sum Y_{lj} \sum \sum Y_{lk} \sum \sum Y_{ll} \end{bmatrix} \quad (4)$$

포트 단자와 이외의 단자 간 어드미턴스 Y_q ;

$$Y_q = \begin{bmatrix} \sum \sum Y_{ip} \sum \sum Y_{iq} \sum \sum Y_{ir} \sum \sum Y_{is} \\ \sum \sum Y_{jp} \sum \sum Y_{jq} \sum \sum Y_{jr} \sum \sum Y_{js} \\ \sum \sum Y_{kp} \sum \sum Y_{kq} \sum \sum Y_{kr} \sum \sum Y_{ks} \\ \sum \sum Y_{lp} \sum \sum Y_{lq} \sum \sum Y_{lr} \sum \sum Y_{ls} \end{bmatrix} \quad (5)$$

포트 단자 외의 단자와 포트 단자 간 어드미턴스 Y_r ;

$$Y_r = \begin{bmatrix} \sum \sum Y_{\pi} \sum \sum Y_{pj} \sum \sum Y_{pk} \sum \sum Y_{ql} \\ \sum \sum Y_{qi} \sum \sum Y_{qj} \sum \sum Y_{qk} \sum \sum Y_{ql} \\ \sum \sum Y_{ri} \sum \sum Y_{rj} \sum \sum Y_{rk} \sum \sum Y_{rl} \\ \sum \sum Y_{si} \sum \sum Y_{sj} \sum \sum Y_{sk} \sum \sum Y_{sl} \end{bmatrix} \quad (6)$$

포트 단자 이외의 단자 간 어드미턴스 Y_t ;

$$Y_t = \begin{bmatrix} \sum \sum Y_{pp} \sum \sum Y_{pq} \sum \sum Y_{pr} \sum \sum Y_{ps} \\ \sum \sum Y_{qp} \sum \sum Y_{qq} \sum \sum Y_{qr} \sum \sum Y_{qs} \\ \sum \sum Y_{rp} \sum \sum Y_{rq} \sum \sum Y_{rr} \sum \sum Y_{rs} \\ \sum \sum Y_{sp} \sum \sum Y_{sq} \sum \sum Y_{sr} \sum \sum Y_{ss} \end{bmatrix} \quad (7)$$

5선 4포트에서 등가 어드미턴스는 식(1)에 (2)의 조

건을 적용하고 식 (4), (5), (6), (7)을 구하면 Y, Y_p, Y_q, Y_r, Y_t 는 다음과 같다.

$$Y_r = \begin{bmatrix} Y_{21} + Y_{23} & Y_{24} & Y_{27} & Y_{28} + Y_{210} \\ Y_{51} + Y_{53} & Y_{54} & Y_{57} & Y_{58} + Y_{510} \\ Y_{61} + Y_{63} & Y_{64} & Y_{67} & Y_{68} + Y_{610} \\ Y_{91} + Y_{93} & Y_{94} & Y_{97} & Y_{98} + Y_{910} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$Y_t = \begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{25} & Y_{26} & Y_{29} \\ Y_{52} & Y_{55} & Y_{56} & Y_{59} \\ Y_{62} & Y_{65} & Y_{66} & Y_{69} \\ Y_{92} & Y_{95} & Y_{96} & Y_{99} \end{bmatrix} \quad (11)$$

그림 2에서 포트 A, B, C, D를 각기 1, 2, 3, 4라 할 때 4포트의 산란 행렬은 다음 관계식에서 구한다.

$$\begin{aligned} [S] &= \{U - Y_n\} \{U + Y_n\}^{-1} \\ &= \{Z_N - U\} \{Z_N + U\}^{-1} \end{aligned}$$

여기서 U : 단위행렬

$$Y_n = [Z_0]^{1/2} [Y_e] [Z_0]^{1/2}$$

$$Y_e = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{pmatrix}$$

$$Z_0 = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_1 \end{pmatrix}$$

입출력 포트의 최적 임피던스는 부하 Z_1, Z_2 에 따른 임피던스 재정규화 방법^[5]으로 산란정수 S' 를 구한다. 최적 임피던스는 Z_1 을 고정하고 $S'_{22} = 0$ 에서 Z_2 를, Z_2 를 고정하고 $S'_{11} = 0$ 에서 Z_1 을 구한다. 관계식은 다음과 같다.

$$[S'] = \{[Z_d] + [Z_s][S]\} \{[Z_s] + [Z_d][S]\}^{-1}$$

여기서 $[Z_s], [Z_d]$ 는 대각행렬로 그 요소는 다음과 같다.

$$Z_{si} \doteq \sqrt{\frac{Z_{io}}{Z_i}} + \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{io}}}$$

$$Z_{di} \doteq \sqrt{\frac{Z_{io}}{Z_i}} - \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{io}}}$$

여기서 Z_{io} : 포트 i의 특성임피던스

$$1) S'_{11} = 0$$

$$Z_1 = Z_{1o} \sqrt{\left(\frac{k}{2} - 1\right)\left(\frac{k}{2} + 1\right)}$$

$$k = (S_{14}^2 - S_{11}^2 - 1)/S_{11}$$

$$2) S'_{22} = 0$$

$$Z_2 = Z_{2o} \sqrt{\left(\frac{k}{2} - 1\right)\left(\frac{k}{2} + 1\right)}$$

$$k = (S_{23}^2 - S_{22}^2 - 1)/S_{22}$$

III. 시뮬레이션 및 실험

중심 주파수를 4GHz로 하고 기판은 비유전율이 2.22, 유전체 두께가 60mil인 테프론 값을 적용하고, 선폭과 선간 간격은 다음과 같이 하여 시뮬레이션을 하였다.

$$\begin{aligned} W_i &= 1200[\text{mil}], i=1,2,3,4,5, \quad S_1 = 600[\text{mil}], \\ S_2 &= 1500[\text{mil}], S_3 = 1200[\text{mil}], S_4 = 600[\text{mil}] \end{aligned}$$

포트 3, 4에서의 주파수 특성

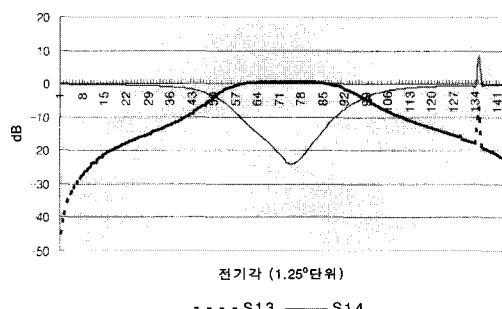


그림 3. 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulation results.

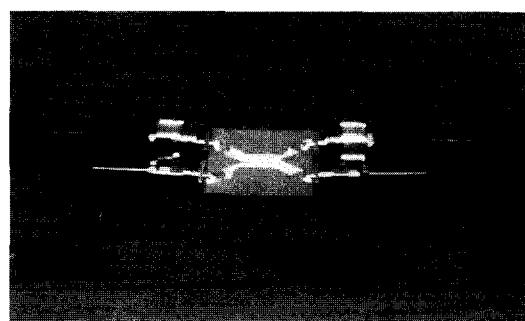


그림 4. 실현한 디아플렉서

Fig. 4. Diplexer realized.

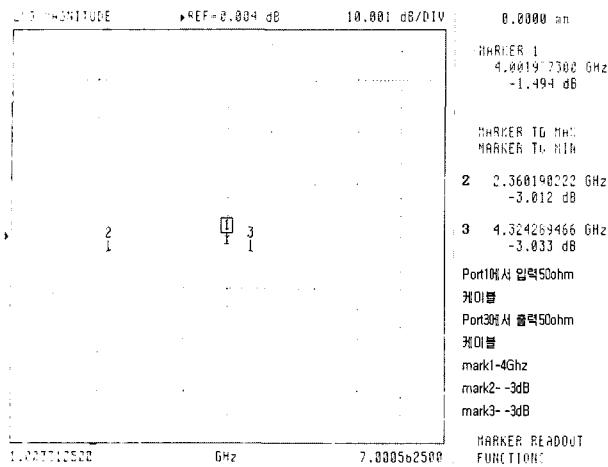


그림 5. 포트 C에서 나타난 S13 특성
Fig. 5. S13 characteristics on port C.

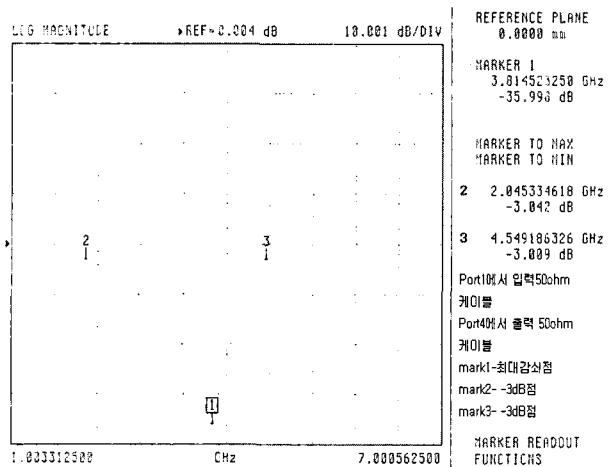


그림 6. 포트 D에서 나타난 S14 특성
Fig. 6. S14 characteristics on port 4.

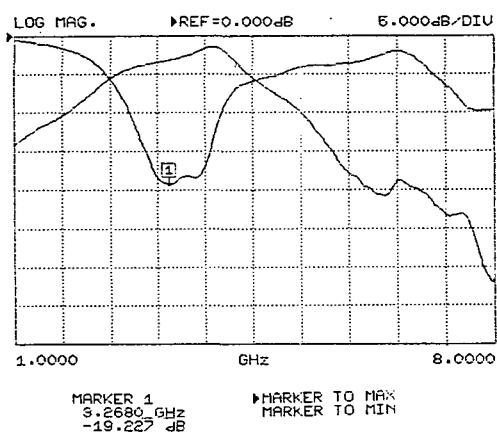


그림 7. 박[14]에서의 특성
Fig. 7. Park[14]'s results.

테플론에 시현한 다이플렉서는 그림 4와 같고 측정 결과 그림 5, 6에 보인다. 그림 5의 통과 대역은 중심 주파수의 하향으로 보이고 그림 6의 소거 특성은 중심

주파수 4GHz보다 0.2GHz 낮은 3.8GHz에서 최대로 나타났다. 통과대역의 통과 대역폭은 1.9 GHz이고 소거 대역의 중심에서는 36dB 정도의 감쇠를 보였다. 시뮬레이션에서 상단 주파수에서 나타난 피크 응답은 나오지 않았다. 이는 피크 응답을 보인 대역이 매우 협소하여 실제 실험에서는 이에 반응하지 못한 것으로 보인다.

IV. 결 론

5-마이크로스트리ップ 선간 간격을 서로 상이한 간격으로 시뮬레이션 및 실 시험한 결과 그림 5의 통과대역과 그림 6의 소거 대역에서 감쇠는 통과대역에서 1.5dB 크게, 소거대역에서는 중심 주파수에서 11dB 정도 높게 감쇠되었다. 또한 통과 대역의 평탄 특성은 Park[14]에서 보다 광대역으로 개선되었다. 단일 소자 부품으로 4-포트 형태에서 소거대역 상하의 통과대역 주파수와 동시에 다른 포트에서 소거 대역에서의 통과 대역으로 사용할 수 있는 다이플렉서로 사용할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Lange, J., "Interdigitated Stripline Quadrature Hybrid," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol.MTT-17,no.12, pp.1150-1151, December, 1969.
- [2] Tajima, Y. and Kimihashi, S., "Multiconductor Couplers," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-26, no.10, pp. 795-801, October 1978.
- [3] Tripathi,V.K., "The Scattering Parameters and Directional Coupler Analysis of Characteristically Terminated Three-Line Structures in an Inhomogeneous Medium," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-29, no.1, pp.22-26, January, 1981.
- [4] Lee H. J., "Computational Methods for the Quasi-TEM Characteristics of Fundamental MIC Planar Structures," Ph.D. Thesis, Electrical and Computer Eng. Dept., Oregon State University, U.S.A., Feb.1983.
- [5] Chin Y. K. and Tripathi, V. K., "Analysis of the General Nonsymmetrical Directional Coupler with Arbitrary Terminations," IEE Proc. vol.129, Pt.H No.6, pp.360-362, December 1982.
- [6] Schiffman,B.M. and Matthaei, G.L., "Exact Design of Bandstop Microwave Filters," IEEE Trans. on

- Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-12, no.1,pp.6-15,January 1964.
- [7] Bates, R. N., "Design of Microstrip Spurline Bandstop Filters," IEEJ. Microwaves, Optics and Acoustics, vol.1, No.6, pp.209-214, November 1977.
- [8] Nguyen, C., Hsieh, C., and Ball, D., "Millimeter Wave Printed Circuit Spurline Filters," IEEE 1983, MTT-S, Int.Microwave Symposium Dig. pp.98-100.
- [9] Nguyen,C.and Chang,K., "On the Analysis and Design of Spurline Bandstop Filters," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-33, no.12, pp.1416-1421, December 1985.
- [10] Tripathi,V.K., "Asymetric Coupled Transmission Lines in an Inhomogeneous Medium," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol.MTT-23, no.9, pp.734-739, September 1975.
- [11] Tripathi,V.K., "On The Analysis of Symmetrical Three-line Microstrip Circuits," IEEE. Trans. on Microwave Theory and Techniques. vol.MTT-25, no.9, pp.726-729, September 1977.
- [12] 박일, 진년강, "MIC를 위한 지선형 대역소거 여파기의 주파수와 임피던스 특성의 연구," 한국통신학회지 제12권, 399-403쪽, 1987년 8월.
- [13] Cohn,S.B. and Coale,F.F., "Directional Channel Separation Filters," Proc.IRE.44, pp.1018-1024, August 1956.
- [14] 박일, 강희창, 진년강, "마이크로파 집적회로를 이용한 복수 마이크로스트립선 결합회로의 설계," 한국통신학회 논문지 제16권 제9호, 862-875쪽, 1991년, 9월

저 자 소 개



박 일(정회원)

1970년 ~ 1980년 3월 한국전력
1980년 3월 ~ 현재 동양공업전문
대학 무선 정보통신과
1970년 한국항공대학 항공전자
공학과 학사졸업.
1982년 한양대학교 전자통신
공학과 석사 졸업.
1989년 단국대학교 전자공학과 박사 졸업.
<주관심분야 : 통신, RF 수동소자, 신호처리, >