

논문 2011-48TC-2-10

마이크로스트립 형 다이플렉서 대역폭의 가변성에 관한 연구

(A Study on Variations of Bandwidth for a Microstrip Line Diplexer)

박 일*

(Yhl Park)

요 약

본 논문에서는 5-마이크로스트립선의 4-포트 다이플렉서에서 선간 간격을 조정 한 결과로부터 2번, 4번 선로 길이를 변동 시켜서 대역폭에 대한 변화를 알아보았다. 2번 선로 길이만을 조정 한 경우 대역폭이 300MHz 축소되었으며 다이플렉서 특성을 한개 포트 입력에서만 구할 수 있었으나 2, 4번 선로 길이를 동시에 조정 한 경우는 입력 포트 2개에서 모두 다이플렉서 특성을 얻을 수 있었다. 통과 대역에 대한 대역폭은 4번 선로의 변동 시 변경 전과 동일한 결과를 얻었다. 특히 저지대역에서는 선로 길이 조정 전보다 중심 주파수에서 출력 포트와의 이격도가 1번 포트 입력인 경우 41dB, 2번 포트 입력에 대한 출력 포트 간 이격도는 32dB을 보인다.

Abstract

This paper shows variations on bandwidth for the 5-microstrip 4-port structure by cutting out part of 2nd and 4th line of 5 lines. In 2nd line case, the bandwidth to pass is decreased by 300MHz and one of two input ports operates in diplexer. Both of 2nd and 4th line cut takes each of two input ports as a diplexer. The bandwidth for 4th line case has almost same bandwidth for the unmodified structure, a bit wider than that of the 2nd line case. Especially the isolation between input and other out port in center frequency of stop band shows 41dB for port 1, 32dB for port 2.

Keywords : scattering parameters, equivalent admittance, optimum impedance

I. 서 론

복수 마이크로스트립 선로는 제작이 용이하고 차단 주파수가 높고 광대역으로 구성할 수 있는 이점이 있다. 결합기로는 Lange 결합기^[1]가 대표적이다. 결합기의 경우 마이크로스트립 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.

Tripathi^[3]는 복수 선로에 관한 모드 특성 임피던스

등을 분석하였고 이미턴스를 구하는 방법은 준-TEM에서 Lee^[4]가 제시 하였다. 이러한 복수 선로의 입출력 포트의 선로 정합은 Chin^[5]이 매질에서 최대 분리도를 유지하는 재정규화 방법을 발표 하였다. 대역 소거 여파기는 진송모드가 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^[14-15]의 연구에서는 Tripathi^[3], Lee^[4]의 방법을 이용하여 선로 개수에 따른 행렬식을 생성시켜서 수치 해석을 자동화 하여 특성을 구하였다. 박^[15]의 연구에서는 선간 간격을 조정하여 다이플렉서를 두 개의 입력 포트 중 한 개의 포트에서 얻었다.

마이크로스트립 선로를 이용한 다이플렉서로는 선로형 공진기를 이용한 Bao 외 3인^[16], Chen외 4인^[17]의 연구

* 정회원, 동양미래대학 정보통신과
(Dept.of Information & Comm, Dongyang Mirae University)

※ 본 연구는 동양미래대학 2010학년도 교내 현장연구비에 의하여 수행 되었습니다.

접수일자: 2010년1월12일, 수정완료일: 2011년2월17일

결과가 있다. 또한 2층 구조 평행 스트립 선 형태인 Chen의 3인^[18]의 결과와 슬롯트 선로로 여기 시킨 단락, 개방 스트립 형태를 직렬로 접속하여 2개의 통과 대역을 얻은 경우^[19] 등이 있다.

본 연구에서는 박^[15]의 결과로 얻은 비대칭 구조를 기본으로 하여 5-마이크로스트립 선로 중 2, 4번 선로의 길이를 조정하여 대역폭 변화 및 특성을 실험을 하였다.

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

$$I = YV \tag{1}$$

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

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

$$\begin{aligned} I_A &= I_1 + I_3, I_B = I_4, I_C = I_7, I_D = I_8 + I_{10}. \\ I_2 &= I_5 = I_6 = I_9 = 0. \\ V_A &= V_1 = V_3, V_B = V_4, \\ V_C &= V_7, V_D = V_8 = V_{10} \end{aligned} \tag{2}$$

N 선로4포트의 등가 어드미턴스 Y_e 는 Park^[14]의 결과로 다음과 같다.

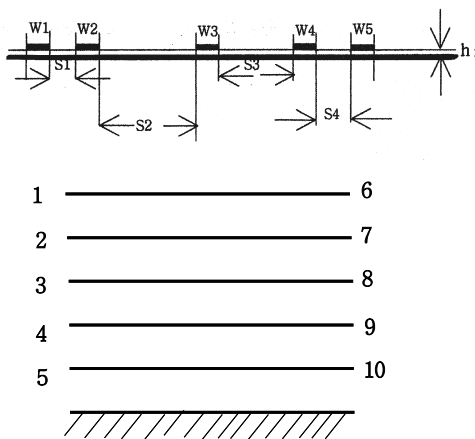


그림 1. 5마이크로스트립선 10포트 단면과 배열
Fig. 1. Cross section and array of 5-microstrip line 10-port.

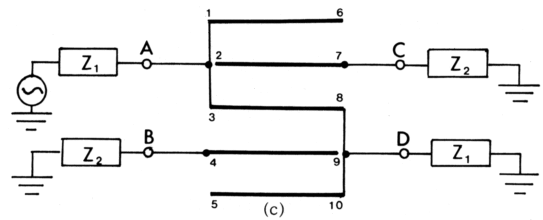


그림 2. 5선 4포트 구성
Fig. 2. 5-microstrip lines 4-ports.

$$Y_e = Y_p - Y_q \cdot Y_r^{-1} Y_t \tag{3}$$

포트A, 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 ;

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

포트 단자와 이외의 단자 간 어드미턴스 Y_q ;

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

포트 단자 외의 단자와 포트 단자 간 어드미턴스 Y_r ;

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

포트 단자 이외의 단자 간 어드미턴스 Y_t ;

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

5선 4포트에서 등가 어드미턴스는 식(1)에 (2)의 조건을 적용하고 식 (4), (5), (6), (7)을 구하여 식 3에 대입하여 구한다. Y_e 는 4×4 행렬로 그림 2에서 포트 A,B,C,D를 각기 1, 2, 3, 4로 하면 다음과 같다.

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

4포트의 산란 행렬은 다음 관계식으로 구한다.

$$[S] = \{U - Y_n\} \{U + Y_n\}^{-1} \\ = \{Z_N - U\} \{Z_N + U\}^{-1}$$

여기서 U : 단위행렬

$$Y_n = [Z_0]^{1/2} [Y_e] [Z_0]^{1/2} \\ Z_0 = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_1 \end{pmatrix}$$

입출력 포트의 최적 임피던스는 부하 Z_1, Z_2 에 따른 임피던스 재정규화 방법^[5]으로 산란계수 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.

$$Z_{si} \equiv \sqrt{\frac{Z_{io}}{Z_i}} + \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{io}}} \\ Z_{di} \equiv \sqrt{\frac{Z_{io}}{Z_i}} - \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{io}}}$$

여기서 Z_{io} : 포트 i 의 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) $S'_{22} = 0$

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

$$k = (S_{23}^2 - S_{22}^2 - 1) / S_{11}$$

III. 시뮬레이션 및 실험

1. 최초 형태

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

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

시뮬레이션한 결과는 그림 3과 같으며 5선으로 결합된 부분의 전체 실효 유전율은 1.711로 산출되었다. 또한 시뮬레이션 시 입출력 부하는 각기 35 ohm, 25ohm으로 놓고 입출력 선로 특성임피던스 50ohm에 정합시키고 정합 선로는 1/4파장 정합 방법으로 하였다. 각 입, 출력 정합부의 실효 유전율은 각기 1.914, 1.893으로 차이가 0.02에 불과하여 테이프의 길이는 동일하다.

포트 2에 대한 응답을 시뮬레이션 한 결과는 그림 4와 같고 테플론에 구현한 다이플렉서는 그림 5에 보인다.

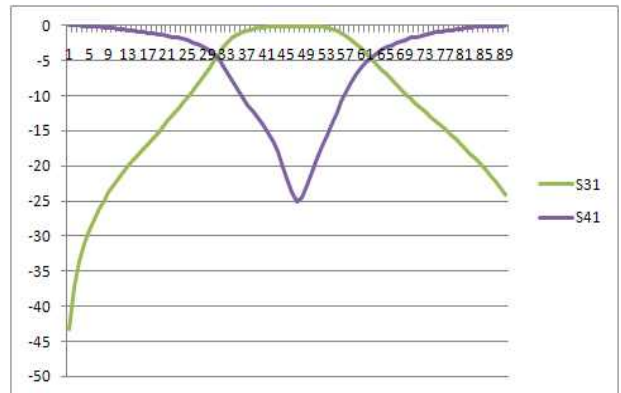


그림 3. 포트 1에서 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulation results on port 1.

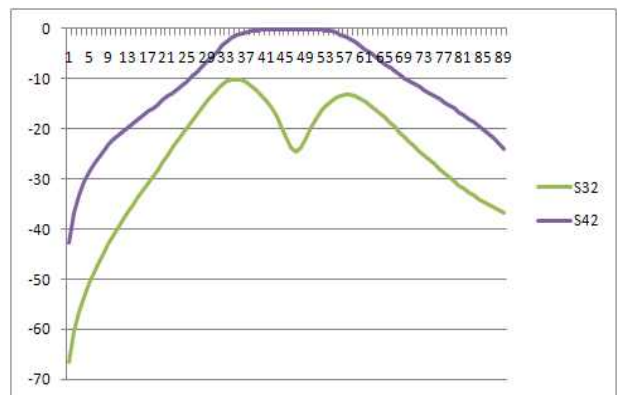


그림 4. 포트 2에서 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulation results on port 2.

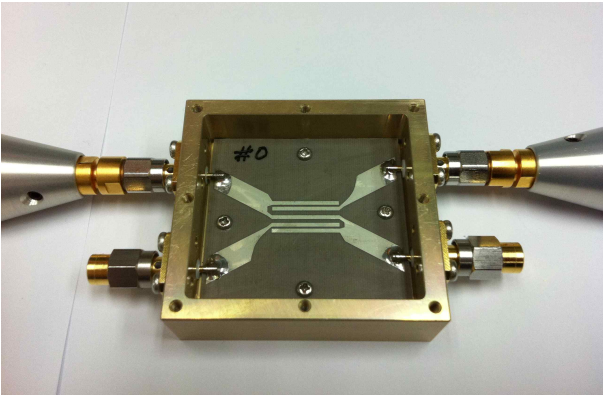


그림 5. 실현한 다이플렉서
Fig. 5. Diplexer realized.

2. 2번 선로 길이를 조정

최초 형태인 그림 2에서 2번째 선로를 조정한 형태는 그림 10에서 4번 선로가 조정되지 않은 구조와 같다. 2번

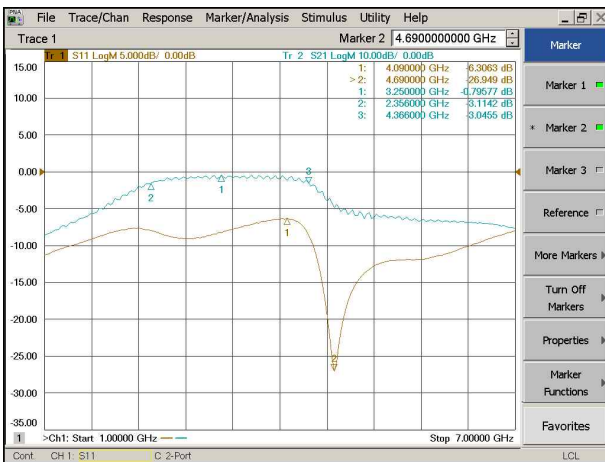


그림 6. 2번 선로 조정 전 S31 특성
Fig. 6. Original S31 response on port 1.

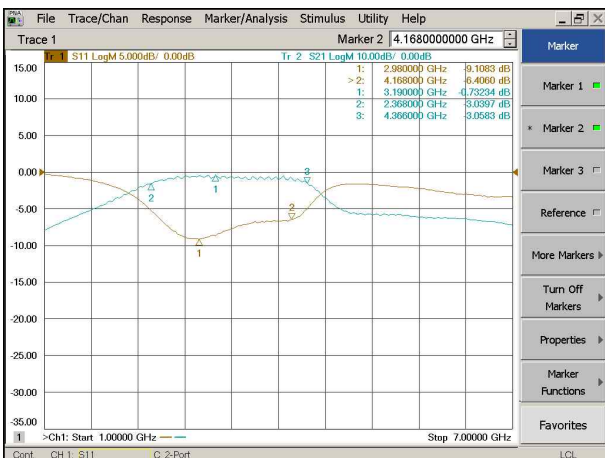


그림 9. 2번 선로 조정 후 S42 특성
Fig. 9. S42 characteristics for #2 line length adjusted.

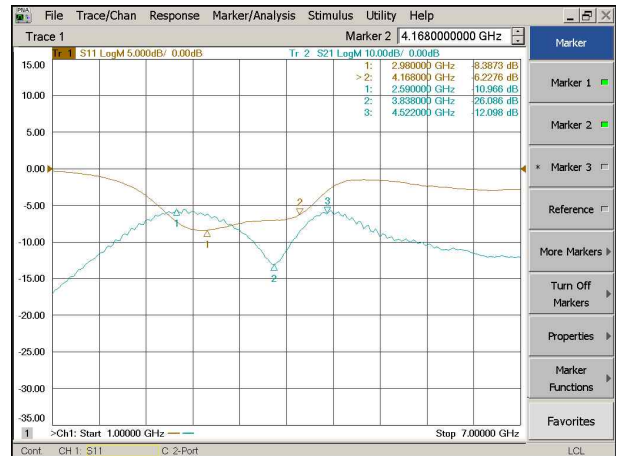


그림 8. 2번 선로 길이 조정 후 S32 특성
Fig. 8. S32 characteristics for #2 line length adjusted.

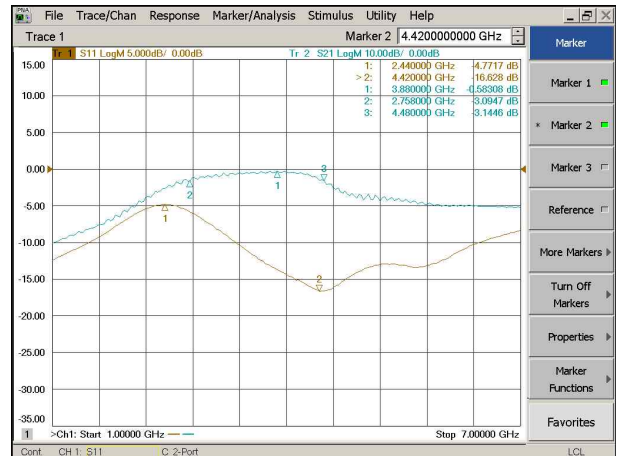


그림 7. 2번 선로 길이 조정 후 S31 특성
Fig. 7. S31 characteristics for #2 line length adjusted.

로 길이의 2/5 (≈ 0.1 파장)를 잘라내기 전후의 S31 특성을 측정된 결과는 그림 6, 7과 같다.

3dB 대역폭은 최초2GHz에서 1.7GHz대로 약 0.3GHz 축소되고 S11은 4GHz 대역에서 8dB 개선된 효과를 보이고 있다. 통과대역에서 최소 감쇠는 0.2dB 호전된 상태를 보인다. 그러나 포트 2에 대한 결합 특성 S32는 감쇠가 4GHz대에서 최소 -25dB에서 -26dB로 증가하여 변화가 포트 1과 달리 영향이 크지 않았다. 변화된 결과는 그림 8과 같으며 원래 형태에서 특성과 대동소이하게 반응하고 있다.

포트 4에서 특성을 보면 그림 9와 같다. S42는 2번 선로 길이 변경 전후 결과는 대역폭이 1.9GHz에서 2GHz로, S22는 -8dB에서 -9dB로 변화된 정도를 보인다.

3. 2번, 4번 선로를 동일하게 조정

2번, 4번 선로 길이를 조정한 형태는 그림 10과 같으며 4번 선로 길이는 2번 선 길이와 동일하다. 포트 1에서 S31, S41, 포트 2에서 S32, S42 특성은 그림 11-14과 같다. 통과대역 특성을 보면 2번 선로만을 조정할 경우에 비하여 대역폭은 축소되지 않고 원래 길이의 특성과 유사하게 복원된 형태를 보인다. 감쇠 대역에서는 S32, S41 공히 3.76GHz에서 최대 감쇠를 보인다.

S31은 3dB 대역폭이 2번 선로 조정 시보다 0.2MHz 확장되어 결국 최초의 길이 조정을 하지 않은 경우와 유사하다. 입력 반사계수인 S11은 -16dB에서 -29dB로 상태가 13dB, 분리도에 해당하는S32는 -26dB에서 -32dB로 6dB 호전되었다.

S41은 2번 선의 경우보다 최대 감쇠 주파수는 3.82GHz에서 3.76GHz 낮아졌고 반사계수 S11은 4GHz

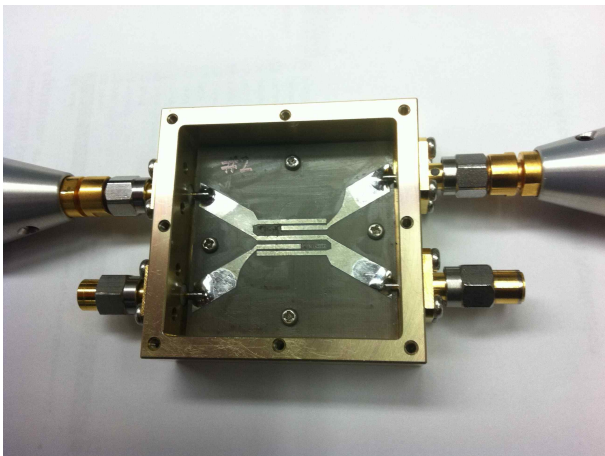


그림 10. 2,4번 선로를 조정한 구조
Fig. 10. Structure adjusted in length of #2 and #4.

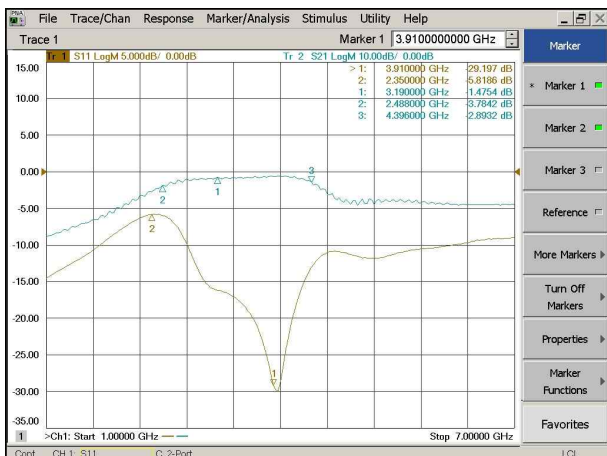


그림 11. 2,4번 선로 길이 조정 시 S31 특성
Fig. 11. S31 characteristics for #2 and #4 line length adjusted.

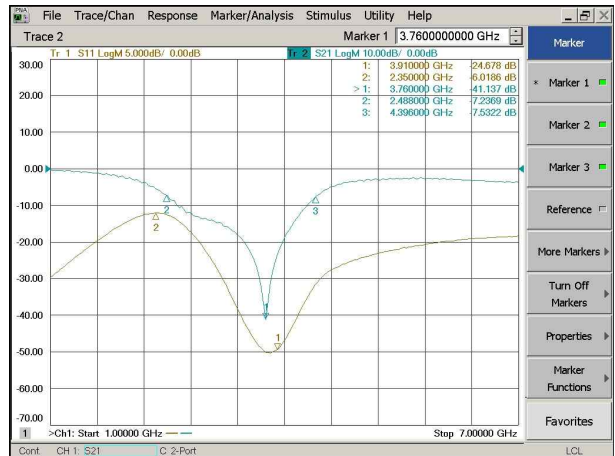


그림 12. 2,4번 선로 길이 조정 시 S41 특성
Fig. 12. S41 characteristics for #2 and #4 line length adjusted.

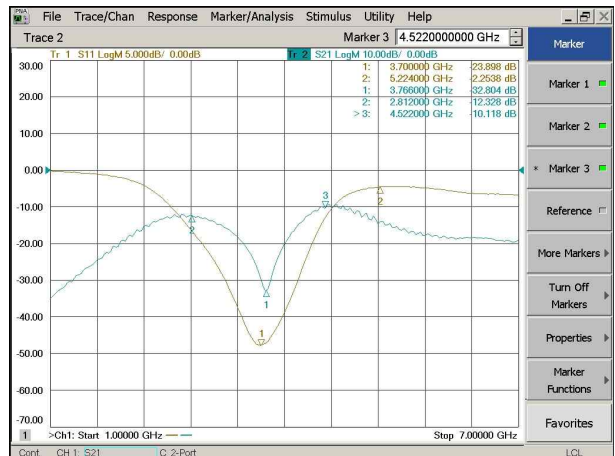


그림 13. 2,4번 선로 길이 조정 시 S32 특성
Fig. 13. S32 characteristics for #2 and #4 line length adjusted.

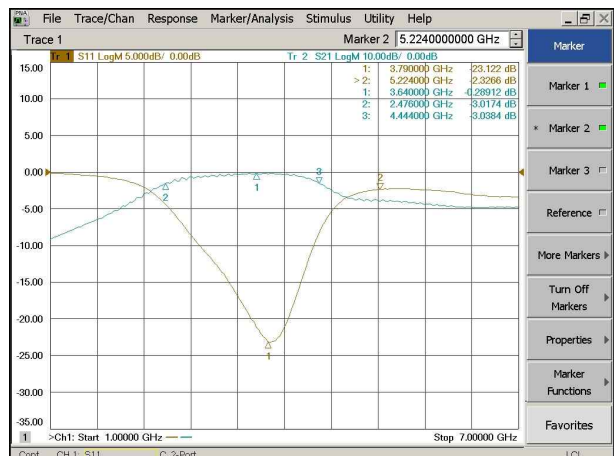


그림 14. 2,4번 선로 길이 조정 시 S42 특성
Fig. 14. S42 characteristics for #2 and #4 line length adjusted.

대에서 최소로 2번 선로 조정된 경우 보다 중심 주파수에 근접한 주파수에서 최소가 나타났다. 포트 1-4간 감쇠량은 -33dB에서 -41dB로 -8dB 증가하여 분리도가 개선되었으며 S42는 3dB 대역폭이 2MHz에서 1.67MHz로 0.33MHz 축소되었고 포트 2에서 입력 반사계수 S11은 -9dB에서 -23dB로 크게 감소하였다.

IV. 결 론

5-마이크로스트립 2-포트 구조를 선간 간격을 서로 상이하게 구성하여 얻은 다이플렉서에서 2, 4번 선로 길이를 변화시켜 대역폭의 변화를 실험한 결과 포트 1과 포트 2가 유사한 다이플렉서로 기능하면서 포트 1은 대역폭이 감소하고 포트2는 변하지 않은 상태로 나타났다. 선로 길이를 조정하지 않은 구조, 2번 선만을 조정된 경우에는 포트 1만을 다이플렉서로 사용할 수 있는 결과를 보였으나 2, 4번 선을 동시에 변화시킨 경우 포트 1,2 모두 다이플렉서 기능을 보였다. 두 포트의 통과대역 특성은 유사한 결과를 보이고 있다. 통과 대역 내에서 서로 다른 주파수를 사용하는 경우에도 입력-타출력 포트 간 감쇠가 크게 작용하여 이러한 특성이 필요한 경우 이용 될 수 있을 것으로 사료된다.

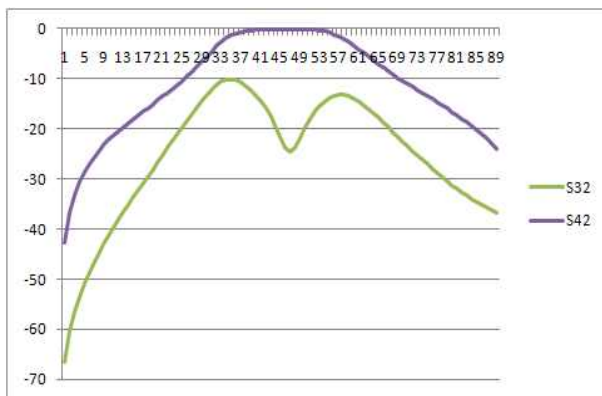


그림 15. 포트 2에서 시뮬레이션 결과

Fig. 15. SimuA novel parallel-coupled line diplexer excited using slot-line resonators for ultra-wideband communicationsimulation results on port 2.

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., "Asymmetric 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
- [15] 박일, “마이크로스트립 선로 형태의 다이플렉서,” 대한전자공학회 논문지 제45권 TC편, 제3호, 75-79쪽, 2008년 3월.
- [16] Bao, Z-H. Chen, J X. Lim, E H. Xue, Q., “Compact Microstrip Diplexer with Differential Outputs,” Electronic Letters. vol 46, Issue 11, pp766-768, May 2010.
- [17] Chi-Feng, Ting-Yi Huang, Chi-Ping Chou, and Ruey-Beei Wu, “Microstrip Diplexers Design With Common Resonator Sections for Compact Size, But High Isolation,” IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-54 ,no.5, pp. 1945-1952, May 2006.
- [18] Xiu Yin Zhang, Jin Shi, Jian-Xin Chen, Quan Xue, “Dual-mode dual-band bandpass filter based on double-sided parallel-strip line,” Microwave and Optical Technology Letters, Vol 51, Issue 5, pp 1361 - 1363, May 2009.
- [19] Hon Kuan, Ru-Yuan Yang, Min-Hang Weng, Wen-Lang Chen, “A novel parallel-coupled line diplexer excited using slot-line resonators for ultra-wideband communications,” Microwave and Optical Technology Letters, Vol 51, Issue 6, pp 1552 - 1555, June 2009.

— 저 자 소 개 —

박 일(정회원)

대한전자공학회 논문지

제45권 TC편, 제3호 참고.