

論 文

비균질 매질내에서 대칭 및 비대칭구조를 갖는
3선 4포트 스트립선 결합회로의 설계

正會員 陳 年 鋼*

Design of the Symmetrical and Non-symmetrical
Interdigitated Three-Line Four-port Microstrip
Line Couplers in an Inhomogeneous Medium

Youn Kang CHIN,* Regular Member

요 약 현재 실용화 하고 있는 4선 4포트 마이크로 스트립 결합기보다 1회선이 더 적지만 그 특성이 비등하면서 더 간단한 구조를 갖는 대칭 및 비대칭 3선 4포트 결합기의 해석과 설계방법을 제시하였다. 유전율이 2.55이고 10인 유전체에 3, 6 과 10dB 용 결합기를 설계하는데 필요한 표와 도표를 구했다.

ABSTRACT Analysis and design procedures for the symmetrical and non-symmetrical interdigitated four-port microstrip couplers consisting of symmetrical three lines is presented. The configuration is simple and a lesser number of bond wires are required as compared to the four-line couplers which are used. Physical dimensions of 3, 6 and 10dB couplers with substrates having typical dielectric constant values of 2.55 and 10 can be found by using the tables and charts.

1. 서 론

초고주파 집적회로 (MIC; Microwave Integrated Circuit)에 적합한 방향성 결합기나 기타 필터등의 설계를 목적으로 복식선로 결합기 (Multiple line coupler)에 관한 연구가 계속되고 있다⁽¹⁻²⁶⁾. 여러 개의 마이크로 스트립선 (Microstrip-line)을 서로 교대로 연결한 깎지긴 방향성 결합기(Interdigitated directional cou-

pler)를 사용하면 결합도를 가장 효율적으로 높일 수 있을 뿐 아니라 주파수특성도 우수하기 때문에 MIC에 매우 적합하다. 이의 중요한 장점은 그 크기가 작고 종전의 2 선로에 의한 결합기보다 도체간의 간격을 비교적 더 넓게 할 수 있다는 점이다.

Lange⁽⁵⁾는 깎지긴 3dB 4선 마이크로 스트립 결합기를 제시하였으나 전자기이론에 입각한 엄격한 설계자료는 제시하지 못했다. 그후 Waugh와 LaCombe⁽⁶⁾는 다른 형태의 3dB Lange 결합기를 제시하였다. Ou⁽⁷⁾는 우수개의 임의수의 선로로 구성된 결합기를 설계하는 일반적인 식을 유도했다. 기타 Paolino⁽⁸⁾와 Rizzoli등⁽⁹⁾외에 많

* 檀國大學校 工科大学電子工學科
Dept. of Electronic Engineering
Dankook University, Seoul 140, Korea.
論文番號 : 85-35(接受 1985. 8. 27)

은 사람들^(10, 11, 12, 14, 15, 16)이 Lange 결합기에 관한 여러가지 설계방법을 제안했다. 그러나 이들의 대부분의 논문들은 바로 이웃 도선간의 커패시턴스만을 고려한 해석에 기초를 둔 것으로 정확한 해석이 될 수 없었다. Shibata 등⁽¹⁷⁾은 나선형(Spiral) 구조를 갖는 방향성 결합기를 제안했다. 진⁽¹⁸⁾은 n 개의 선로로 구성된 결합 전송구조의 임피던스와 어드미턴스를 컴퓨터 프로그램에 의하여 편리하게 구할 수 있는 방법을 제시했다. 본 논문에서는 MIC를 위한 대칭 및 비대칭 짝지선 3선 4포트(Port) 구조를 갖는 마이크로 스트립 결합기에 관한 해석과 설계방법을 제시했다. 이는 그림 1처럼 도체판을 밑면으로 갖는 유전체위에 3개의 마이크로 스트립 선을 증착시킨 짝지선 3선 4포트결합기다. 이의 상집을 4개의 마이크로 스트립선을 사용하는 3dB Lange 결합기보다 1개의 선로가 적으므로 선간을 연결하는 본드선(Bond wire)의 수도 줄게 되므로 구조가 간단하면서도 Lange 결합기와 대등한 특성을 갖는 점이다.

Yamamoto 등⁽¹⁹⁾과 Pavlidis 등⁽²⁰⁾이 3선 결합기

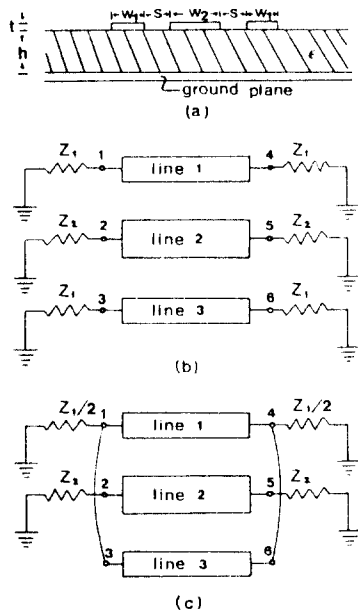


그림 1 (a) 3선 마이크로 스트립 구조의 단면적
(b) 결합된 3선 6Port의 등가
(c) 3선 4Port의 등가
The three-line coupled microstrip structure.

에 관한 정찰을 얻어냈고 Tulaja 등⁽²¹⁾은 알루미늄(Alumina) 유전체위에 3dB 결합기를 실험적으로 실현했으나 설계방법은 제시하지 못했다.

Tripathi⁽²²⁾는 이에 관한 해석을 노르말 모우드 정수(Normal mode parameters), 고유벡터 및 모우드 특성임피던스등을 사용하여 정확하게 행렬(Matrix) 형태로 표현했다. 그러나 이를 실용하기 위해서는 노르말 모우드 정수를 구하는 것이다. 본 논문에서는 대칭 2선 마이크로 스트립 선 결합회로의 모우드 정수를 구하는 Bryant와 Weiss⁽²³⁾의 컴퓨터 프로그램을 복직선로 결합회로에 직접 응용하여 모우드 정수와 특성임피던스를 구했다. 산란정수의 계산결과를 살펴 보면 4포트의 등가임피던스가 대칭인 경우에는 Cristal의 조건⁽²⁴⁾에 의하여 선로의 특성임피던스를 구할 수 있으나 4포트의 등가임피던스가 비대칭인 경우에는 Cristal의 조건은 선로간의 분리도(Isolation)가 최대가 되나 정합조건은 되지 못함을 알 수 있다. 따라서 Chin의 임피던스 재정규화 방법(IRP; Impedance Renormalization Procedure)⁽²⁵⁾에 의해서 구할 수 있다.

2. 해석과 설계

2-1 해석

짝지선 3선 4포트의 등가임피던스는 다음과 같은 산란행렬(Scattering matrix)에 의하여 각 선로 정수를 구하면 그 결합도(coupling)와 수파 손실등을 분석할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{즉,} \\ & [S] = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} [U] \begin{bmatrix} Y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_n \end{bmatrix}^{-1} \quad (2-1) \\ & \begin{bmatrix} Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \end{bmatrix}^{-1} \end{aligned}$$

여기에서 $[Y_n]$ 과 $[Z_n]$ 는 각각 부하로 정규화한 어드미턴스와 임피던스 매트릭스이고 $[U]$ 는 단위 매트릭스임.

각자가 제시한 바 있는 그림 2와 같은 비대칭 2선 4포트 결합회로를 위한 산란정수⁽²⁶⁾에 관한 식을 짝지선 3선 4포트에 적용하면 매우 편리하다. 즉, 비대칭 2선 4포트 결합회로의 산란정수는 다음과 같다;

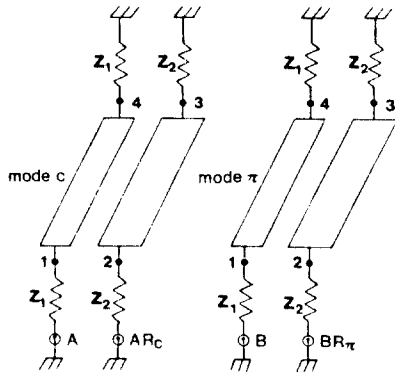


그림 2 산란계수 유도를 위한 설명도.
Sources and terminations used to drive the scattering parameters: (a) total signal input 1 V at port 1, zero at all the other ports. (b) total signal input 1 V at port 2, zero at all the other ports.

$$S_{11} = S_{44} = A\Gamma_c + B\Gamma_\pi$$

$$= \frac{1}{R_c - R_\pi} (R_c\Gamma_\pi - R_\pi\Gamma_c)$$

$$S_{12} = S_{21} = S_{34} = S_{43} = (AR_c\Gamma_c + BR_\pi\Gamma_\pi) \sqrt{\frac{Z_{10}}{Z_{20}}}$$

$$= \sqrt{-R_cR_\pi} \frac{\Gamma_c - \Gamma_\pi}{R_c - R_\pi} \quad (2-2)$$

$$S_{14} = S_{41} = AT_c + BT_\pi$$

$$= \frac{R_cT_\pi - R_\piT_c}{R_c - R_\pi}$$

$$S_{13} = S_{31} = S_{24} = S_{42} = (AR_cT_c + BR_\piT_\pi) \sqrt{\frac{Z_{10}}{Z_{20}}}$$

$$= \sqrt{-R_cR_\pi} \frac{T_c - T_\pi}{R_c - R_\pi}$$

$$S_{22} = S_{33} = AR_c\Gamma_c + BR_\pi\Gamma_\pi$$

$$= \frac{R_c\Gamma_c - R_\pi\Gamma_\pi}{R_c - R_\pi} \quad (2-2)$$

$$S_{23} = S_{32} = AR_cT_c + BR_\piT_\pi$$

$$= \frac{R_cT_c - R_\piT_\pi}{R_c - R_\pi}$$

여기에서

$$A \triangleq \frac{R_\pi}{R_c - R_\pi}, \quad B \triangleq \frac{R_c}{R_c - R_\pi}$$

Γ_c 와 Γ_π 및 T_c 와 T_π 는 각각 mode c 와 π 에 대한 반사계수 및 전송계수임.

위의 식들에 $Z_1/Z_2 = -2/R_{vb}R_{vc}$ (여기에서 Z_1 과 Z_2 는 각각 선로 1과 2의 부하) $R_c = R_{vb}$ 와 $R_\pi = R_{vc}$ 를 대입하면 Tripathi^[4]가 구한 결과와 동일하게 된다. 대칭인 경우에는 부하 Impedance를 $Z_2 = Z_1/2$ 가 되도록 하면 즉,

$\sqrt{Z_{b1}Z_{c1}}/2 = \sqrt{Z_{b2}Z_{c2}}$ ^[23] 이면 중심주파수 ($\beta_a + \beta_b + \beta_c$)1/2 = $\pi/2$ 에서 결합기는 정합(Matching)이 되고 분리도도 최대가 됨을 알 수 있으나 비대칭인 경우에는 Cristal의 조건에 의한 값, 즉 $Z_{10} = Z_1/2 = \sqrt{Z_{b1}Z_{c1}}/2$ 와 $Z_{20} = Z_2 = \sqrt{Z_{b2}Z_{c2}}$ 를 취하면 중심주파수에서 분리도가 최대가 되나 결합기의 정합은 얻을 수 없다.

위에서 Z_x 의 x 는 a, b, c 의 3개별 mode를 나타내고 $j = 1, 2, 3$ 는 세 선로를 나타내고 Z_i 의 i 는 짝지긴 경우의 특성임피던스를 나타낸다. 따라서 최대의 분리도를 유지하면서 정합을 시키기 위해서는 저자가 제시한 임피던스 재규화방법^[23]을 사용해야 한다.

2.2 설계

3dB, 6dB 및 10dB의 결합도를 갖는 짝지긴 3선 4포트 마이크로 스트립 결합기 (Interdigitated three-line four-port microstrip coupler)는 다음과 같은 절차에 의하여 구하여진다. 즉, 처음에는 사용코저 하는 유전체(예를들면, $\epsilon_r = 10$ 이나 $\epsilon_r = 2.55$)의 높이에 관하여 정규화한 임의의 값, 예를 들면 w_1/h , w_2/h 와 s/h 의 값을, 노르말 모우드정수 및 특성임피던스를 구하는 컴퓨터 프로그램(Bryant와 Weiss^[22]의 프로그램을 확장한)에 대입하여 모우드 정수를 구한 다음, 이를 Tripathi^[21]가 제시한 임피던스나 어드미턴스식에 대입하면 임피던스와 어드미턴스 값을 얻는다. 부하 $Z_1/2 = Z_2 = 50\Omega$ 를 위의 값과 함께 식 (2-1)에 적용하면서 원하는 결합도(Coupling)를 얻을때까지 반복하면 표 2-1과 같은 결과를 얻는다. 이 표를 살펴보면 결합도는 도선간의 간격(s/h)에 의해서 결정되고 또 대칭구조(symmetrical structure)인 경우에는 R_{vb} 의 R_{vc} 의

(Cont.)

(4) 6 dB case with $\epsilon_r = 2.55$

w_1/h	s/h	w_2/h	ϵ_a	ϵ_b	ϵ_c	v_a	v_b	v_c	R_{vb}	R_{vc}	Z_{a1}	Z_{b1}	Z_{b2}	Z_{c1}	Z_{c2}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
.663	.117	.780	1.8276	2.1084	1.7822	2.2176	2.0646	2.2457	1.0581	-1.7476	80.148	165.022	152.568	46.770	43.240	-25.66	-5.59	-1.47	-21.00
		.975	1.8301	2.1173	1.7840	2.2161	2.0603	2.2445	1.0645	-1.5155	80.462	166.944	134.665	49.240	39.719	-25.63	-5.61	-1.45	-22.25
		1.170	1.8333	2.1299	1.7869	2.2142	2.0542	2.2427	1.0737	-1.2625	80.795	169.573	114.925	52.397	35.511	-25.63	-5.71	-1.40	-23.90
		1.365	1.8350	2.1379	1.7888	2.2131	2.0504	2.2415	1.0794	-1.1351	80.956	171.193	104.878	54.205	33.207	-25.65	-5.79	-1.36	-24.72
		1.560	1.8372	2.1492	1.7917	2.2118	2.0450	2.2397	1.0877	-.9847	81.140	173.465	92.894	56.561	30.290	-25.65	-5.94	-1.31	-25.3
		1.755	1.8385	2.1564	1.7936	2.2110	2.0416	2.2385	1.0928	-.9042	81.236	174.889	86.404	57.935	28.623	-25.65	-6.05	-1.27	-25.26
		1.950	1.8400	2.1666	1.7963	2.2101	2.0367	2.2369	1.1002	-.8046	81.353	176.906	78.299	59.754	26.447	-25.63	-6.23	-1.22	-24.72

(5) 10 dB case with $\epsilon_r = 2.55$

w_1/h	s/h	w_2/h	ϵ_a	ϵ_b	ϵ_c	v_a	v_b	v_c	R_{vb}	R_{vc}	Z_{a1}	Z_{b1}	Z_{b2}	Z_{c1}	Z_{c2}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
.858	.429	.429	1.8792	2.1260	1.7946	2.1870	2.0561	2.2379	1.0966	-2.2472	86.946	125.363	154.470	59.689	73.548	-24.90	-10.6	-.46	-20.34
		.858	1.8853	2.1527	1.8071	2.1834	2.0433	2.2302	1.1233	-1.4085	87.337	130.823	103.488	65.295	51.652	-24.24	-9.93	-.51	-22.63
		1.287	1.8883	2.1675	1.8144	2.1817	2.0363	2.2257	1.1390	-1.1431	87.546	133.196	86.708	68.001	44.267	-24.19	-9.95	-.50	-23.54
		1.716	1.8917	2.1873	1.8239	2.1797	2.0271	2.2199	1.1604	-.8930	87.777	135.996	70.458	71.100	36.836	-24.19	-10.20	-.47	-23.84
		2.145	1.8934	2.1991	1.8294	2.1787	2.0216	2.2165	1.1734	-.7788	87.892	137.563	62.855	72.717	33.226	-24.18	-10.44	-.45	-23.53
		2.574	1.8954	2.2154	1.8356	2.1776	2.0142	2.2122	1.1913	-.6524	88.024	139.623	54.257	74.674	29.018	-24.12	-10.85	-.42	-22.90
		3.003	1.8964	2.2253	1.8407	2.1770	2.0097	2.2097	1.2022	-.5881	88.094	140.851	49.789	75.742	26.774	-24.05	-11.14	-.39	-22.45
		3.432	1.8977	2.2391	1.8462	2.1762	2.0035	2.2064	1.2173	-.5115	88.177	142.524	44.374	77.082	23.989	-23.93	-11.60	-.36	-21.88

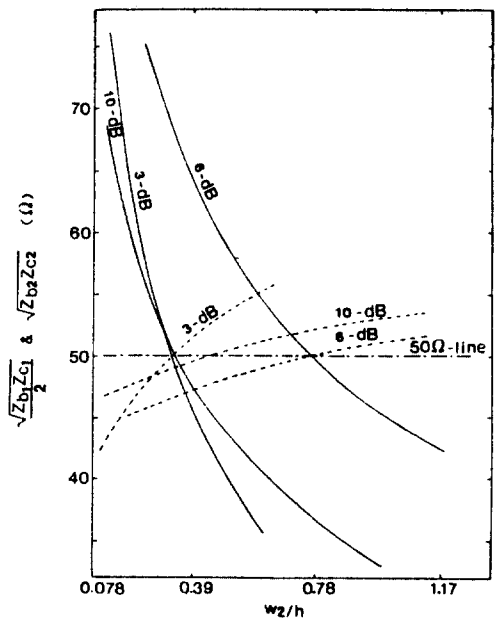


그림 3 알루미늄용까지 3선 결합기 설계
Design curves for alumina ($\epsilon_r = 10$) interdigitated three-line couplers (where, $w_1/h = 0.078$ and $s/h = 0.039$ for 3-dB, $w_1/h = 0.125$ and $s/h = 0.187$ for 6-dB, $w_1/h = 0.156$ and $s/h = 0.468$ for 10-dB).

..... $Z_{10} = \sqrt{Z_{b1} Z_{c1}} / 2$
 — $Z_{10} = \sqrt{Z_{b2} Z_{c2}}$

수 특성은 그림 5와 같다.

같은 방법으로 원하는 결합도를 갖는 비 대칭

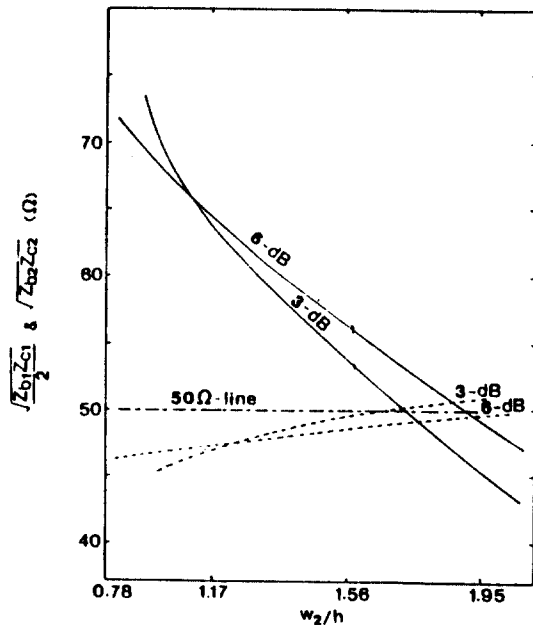


그림 4 테프론용 3선 결합기 설계
Design curves for teflon ($\epsilon_r = 2.55$) interdigitated three-line couplers (where, $w_1/h = 0.663$ and $s/h = 0.117$ for 6-dB, $w_1/h = 0.858$ and $s/h = 0.429$ for 10-dB).

..... $Z_{10} = \sqrt{Z_{b1} Z_{c1}} / 2$
 — $Z_{10} = \sqrt{Z_{b2} Z_{c2}}$

까지 3선 4포트 마이크로 스트립 결합기 (또는 임피던스 정합회로)를 설계할 수 있다. 그러나 산란정수를 살펴보면 비대칭인 경우는 대칭

인 경우와 달리 Cristal 조건인 $Z_1 = \sqrt{Z_{b1} Z_{c1}}/2$ 와 $Z_2 = \sqrt{Z_{b2} Z_{c2}}$ 이 임피던스 정합($S_{11} = 0$) 을 만족할 수 없으나 최대분리(Maximum Isolation; $S_{14} = 0$)의 조건은 만족할 수 있음을 다음 예제를 통하여 알 수 있다. 이 경우의 임피던스 정합을 저자가 제시한 바 있는 다음과 같은 산란정수^[23]의 식을 사용하여 $S_{11} = 0$ 의 조건을 만족하는 Z_1 과 Z_2 의 값을, 식(2-3)과 식(2-4)를 교대로 몇 번 반복하면 Z_1 과 Z_2 는 어느 일정한 값으로 수렴함으로 최적의 값을 얻는다.

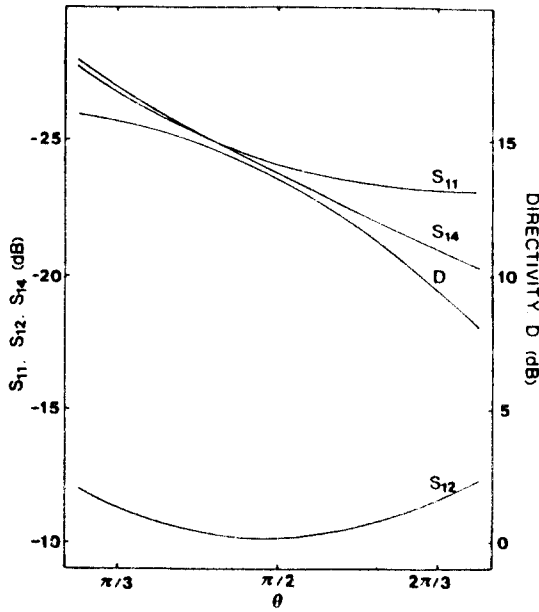


그림 5 결합도, 반사계수, 분리도 및 방향성
Coupling |S₁₂|, reflection coefficient |S₁₁|, isolation |S₁₄| and directivity D vs normalized frequency θ for nominal 10-dB coupling with $\epsilon_r = 2.55$ (where $w_1/h = 0.858$, $w_2/h = 1.716$, $s/h = 0.429$), when terminated in $Z_1 = Z_2 = 50$ ohms.

$$S'_{11} = S'_{44} = \frac{[(Z_{d1} + Z_{s1} S_{11})(Z_{s1} + Z_{d1} S_{11}) - Z_{s1} Z_{d1} S_{14}^2]}{\Delta}$$

$$S'_{14} = S'_{41} = \frac{[Z_{s1} S_{14}(Z_{s1} + Z_{d1} S_{11}) - Z_{d1} S_{14}(Z_{d1} + Z_{s1} S_{11})]}{\Delta}$$

$$S'_{12} = S'_{21} = S'_{34} = S'_{43} = \frac{[2 S_{12}(Z_{s1} + Z_{d1} S_{11}) - 2 Z_{d1} S_{14} S_{13}]}{\Delta}$$

$$S'_{13} = S'_{31} = S'_{24} = S'_{42} = \frac{[2 S_{13}(Z_{s1} + Z_{d1} S_{11}) - 2 Z_{d1} S_{14} S_{14}]}{\Delta}$$

$$S'_{22} = S'_{33} = \frac{[Z_{d2}(Z_{s2} + Z_{d2} S_{22})(S_{12}^2 + S_{13}^2) - 2 Z_{d2}^2 S_{12} S_{13} S_{23}]}{\Delta} \quad (2-3)$$

$$S'_{23} = S'_{32} = S_{23} = \frac{[2 Z_{d1}(Z_{s1} + Z_{d1} S_{11}) S_{12} S_{13} - Z_{d1}^2 S_{14}(S_{12}^2 + S_{13}^2)]}{\Delta}$$

여기에서 $\Delta = (Z_{s1} + Z_{d1} S_{11})^2 - Z_{d1} S_{14}^2$

$$S'_{11} = S'_{44} = \frac{[S_{11} - Z_{d2} \{ (Z_{s2} + Z_{d2} S_{22})(S_{12}^2 + S_{13}^2) - 2 Z_{d2} S_{12} S_{13} S_{23} \}]}{\Delta}$$

$$S'_{12} = S'_{21} = S'_{34} = S'_{43} = \frac{[Z_{s2} S_{12} / 2 - Z_{d2} \{ Z_{s2}^2 (S_{12} S_{22} + S_{13} S_{23}) + Z_{d2}^2 (S_{12} S_{22} - S_{13} S_{23}) + Z_{s2} Z_{d2} S_{12} (S_{22}^2 - S_{23}^2 + 1) \}]}{(2\Delta)}$$

$$S'_{13} = S'_{31} = S'_{24} = S'_{42} = \frac{[Z_{s2} S_{13} / 2 - Z_{d2} \{ Z_{s2}^2 (S_{12} S_{23} + S_{13} S_{22}) + Z_{d2}^2 (S_{12} S_{23} - S_{13} S_{22}) + Z_{s2} Z_{d2} S_{13} (S_{22}^2 - S_{23}^2 + 1) \}]}{(2\Delta)} \quad (2-4)$$

$$S'_{14} = S'_{41} = \frac{[S_{14} - Z_{d2} \{ 2 S_{13} S_{17} (Z_{s2} + Z_{d2} S_{22}) - Z_{d2} S_{23} (S_{12}^2 - S_{13}^2) \}]}{\Delta}$$

$$S'_{22} = S'_{33} = \frac{[(Z_{d2} + Z_{s2} S_{22})(Z_{s2} + Z_{d2} S_{22}) - Z_{s2} Z_{d2} S_{23}^2]}{\Delta}$$

$$S'_{23} = S'_{32} = \frac{[Z_{s2} S_{23} (Z_{s2} + Z_{d2} S_{22}) - Z_{d2} S_{23} (Z_{d2} + Z_{s2} S_{22})]}{\Delta}$$

여기에서 $\Delta = (Z_{s2} + Z_{d2} S_{22})^2 - (Z_{d2} S_{23})^2$

$$Z_{si} \triangleq \sqrt{\frac{Z_{i0}}{Z_i}} + \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{i0}}}$$

$$Z_{di} \triangleq \sqrt{\frac{Z_{i0}}{Z_i}} - \sqrt{\frac{Z_i}{Z_{i0}}}$$

예제 : $\epsilon_r = 10$ 인 알루미늄(Alumina)의 유전체 일 경우, $w_1/h = w_3/h = 0.078$, $w_2/h = 0.117$, $s/h = 0.039$ (그림 1 참조) 이면 표 2-1에 의해 식(2) TEM 노르말 모우트 정수(Quasi-TEM normal parameter)를 얻을 수 있다. 이 값들을

식(2-2)에 대입하면 다음과 같은 3dB비대칭 짝지긴 3선 4포트 결합기의 산란정수를 구할 수 있다. 여기에서 Z_1/Z_2 는 $-2/R_{vb} R_{vc}$ ($R_c = R_{vb}$ 이고 $R_{\pi} = R_{vc}$) 이고 $Z_1\sqrt{Z_{b1} Z_{c1}}/2 = 43\Omega$ 과 $Z_2 = \sqrt{Z_{b2} Z_{c2}} = 79.94\Omega$ 이다. 이 값들을 초기값으로 사용하면 최대분리 조건을 만족하므로 매우 편리함을 알 수 있다. 이 값에 대한 산란정수는 다음 표 1과 같으며 저자의 IRP방법에 의하여 구한 최적부하의 값, $Z_1 = 54\Omega$ 과 $Z_2 = 65.7\Omega$ 에 대한 산란정수의 값은 표 2와 같다.

위의 표를 비교하면 결합기의 성합이 매우 크게 향상됨을 알 수 있으며 이를 정규화한 수파수의 함수로 도시하면 그림 6과 같다.

표 1

$ S_{11} $	$ S_{12} $	$ S_{14} $	$ S_{13} $	$ S_{22} $	$ S_{23} $
.2190	.6994	.0245	.6797	.1473	.6872

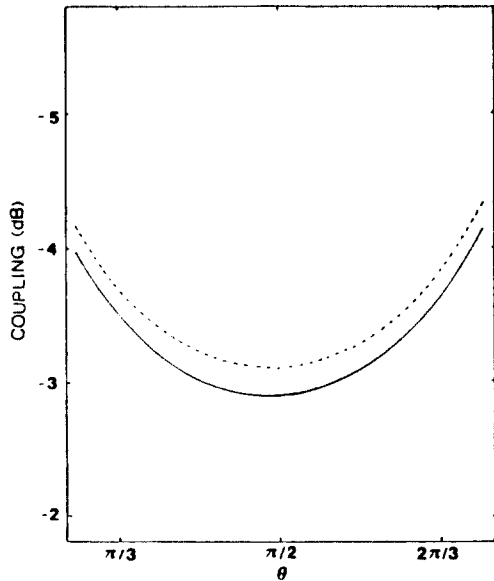


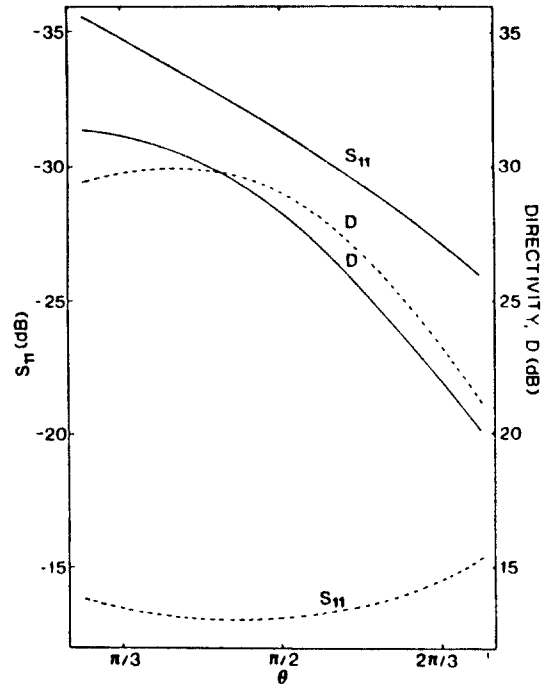
그림 6 (a) 비대칭 짝지긴 결합기의 결합도
Coupling $|S_{12}|$ vs normalized frequency θ for the non-symmetrical interdigitated three-line structure with $\epsilon_r = 10$.
..... Characteristic terminations, $Z_{10} = 43$ ohms and $Z_{20} = 79.94$ ohms.
..... Optimized terminations, $Z_1 = 54$ ohms and $Z_2 = 65.7$ ohms.

표 2

$ S_{11} $	$ S_{12} $	$ S_{14} $	$ S_{13} $	$ S_{22} $	$ S_{23} $
.0272	.7165	.0277	.6965	.0324	.6963

4. 실험

앞절에서 설명한 이론적인 설계치를 실증하고자 높이 $h = 1.524\text{mm}$ 인 테플론(Teflon, $\epsilon_r = 2.55$)을 사용하여 3선 4포트 마이크로 스트리플 방향성 결합기를 설계했다. 실험의 편의를 위하여 50Ω 의 부하를 갖는 10dB대칭형 결합기를 설계의 예로 삼았다. 그 설계치는 표 2-1에 의하여 구하면 다음과 같다.



(b) 비대칭 짝지긴 결합기의 반사계수와 방향성
Reflection coefficient $|S_{11}|$ and directivity D vs normalized frequency θ for the non-symmetrical interdigitated three-line structure with $\epsilon_r = 10$.
..... Characteristic terminations, $Z_{10} = 43$ ohms and $Z_{20} = 79.94$ ohms.
..... Optimized terminations, $Z_1 = 54$ ohms and $Z_2 = 65.7$ ohms.

$$w_1 = w_3 = (0.858)(1.524\text{mm}) = 1.3076\text{mm}$$

$$s = (0.429)(1.524\text{mm}) = 0.6538\text{mm}$$

결합에 직접관계되는 길이 l ($=\lambda_g/4$)을 중심주파수 $f_0 = 4\text{GHz}$ 에 맞추도록 계산하면 다음과 같다 (그림 7 참조).

$$l = \frac{3 \times 10^{11}}{4f_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} = 13.37(\text{mm})$$

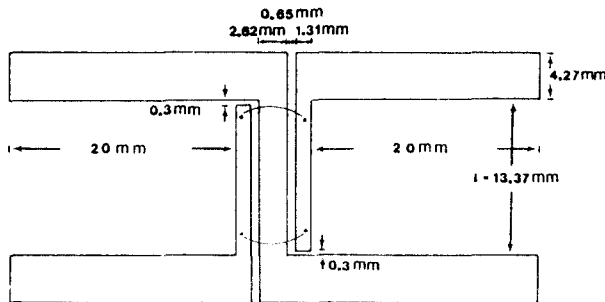


그림 7 도체판을 갖는 Teflon ($\epsilon_r=2.55$) 위에 설계된 10-dB 대칭형 방향성 결합기의 평면도

The plane section of 10-dB symmetrical coupler designed on Teflon ($\epsilon_r=2.55$) with the copper ground.

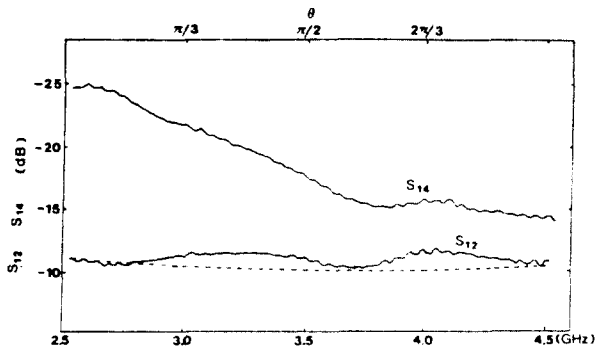


그림 8 결합도 ($|S_{12}|$)와 분리도 ($|S_{14}|$)의 설계치와 이론치 (실선은 설계치이며 점선은 이론치임).

The theoretical and measured values of coupling ($|S_{12}|$) and isolation ($|S_{14}|$).

여기에서 $\epsilon_{eff} = (\epsilon_a + \epsilon_b + \epsilon_c) / 3$ (표 2-1 참고) 결합도 ($|S_{12}|$)와 분리도 ($|S_{14}|$)에 관한 이론적 계산치와 실험적인 결과를 그림 8과 같다. 이론과 실험이 잘 일치됨을 알 수 있다. 그러나 결합도의 실험치에 리플(ripple)이 생기고 분리도가 이론치보다 -5dB 정도의 차이가 생기는 것은 부식(Etching)에 의한 설계치의 오차와 불균형 및 누 마이크로 스트립선상을 연결하는 본딩선(Bonding wire)에 의한 처리 기술의 미숙함에

그 원인이 있다고 사료된다. 특히 본딩선에 의한 리액턴스(Reactance)의 영향은 이론적 설계에서는 무시했기 때문에 이에 관한 연구는 또한 하나의 좋은 연구분야가 될 것으로 생각한다. 마이크로파와 같이 사용주파수가 높은 경우에 이와 같은 현상을 정확히 해석한다는 것은 매우 어려운 일이다.

5. 결 론

세계의 마이크로 스트립선으로 이루어진 대칭 및 비대칭 4포트 방향성 결합기(Symmetrical and non-symmetrical interdigitated four-port directional couplers)에 관한 해석과 설계에 관하여 소개했다.

조그수파에직 많이 사용하는 유전율이 2.55인 테플론과 유전율이 10인 아부미나일 경우에 대한 3, 6 및 10dB 결합기를 설계하는데 필요한 자료를 표와 도표로 표시했다. 또 최대 분리도를 유지하면서 최적 임피던스 적합치를 구하는 방법을 제시했다.

이러한 자료는 마이크로파 각적회로(MIC)를 설계하고 연구하는 공학도와 연구원에게 유익하리라 믿는다.

본 논문은 한국과학재단의 연구비에 의하여 행하여진 논문입니다.

참 고 문 헌

- (1) Tripathi, V.K., "Equivalent circuits and characteristics of inhomogeneous nonsymmetrical coupled-line two-port circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-25, pp. 140-142; February 1977.
- (2) LaCombe, D. and Cohen, J., "Octave-band microstrip DC blocks," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, pp. 555-55; August 1972.
- (3) Rizzoli, V., "Analysis and design of microstrip DC block," Microwave Jour., Vol. 20, pp. 109-110; June 1977.
- (4) Kajfez, et al., "Asymmetric microstrip DC block with rippled response," IEEE, MTT S Intl Microwave Symp. Digest, pp. 301-303; 1981.
- (5) Lange, J., "Interdigitated stripline quadrature hybrid."

- IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-17, pp. 1150-1151; December 1969.
- (6) Waugh, R. and Lacombe, D., "Unfolding the Lange coupler," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, pp. 777-779; November 1972.
 - (7) Ou, W. P., "Design equation for an interdigitated directional coupler," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-23, pp. 253-255; February 1975.
 - (8) Paolino, D. D., "Design more accurate interdigitated couplers," Microwaves, pp. 34-38; May 1976.
 - (9) Rizzoli, V. and Lipparini, A., "The design interdigitated couplers for MIC applications," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, pp. 7-15; January 1978.
 - (10) Rizzoli, V. "Stripline interdigitated couplers; analysis and design considerations," Electronics Letters, Vol. 11, pp. 392-393; August 1975.
 - (11) Malherbe, J. A. G., "Interdigital directional couplers with an odd-or even-number of lines and unequal characteristic impedances," Electronics Letters, Vol. 12, pp. 464-465; September 1976.
 - (12) Hewitt, S. J. and Pengelly, R. S., "Design data for interdigital directional couplers," Electronics Letters, Vol. 12, pp. 86-87; February 1976.
 - (13) Tulaja, V., Schiek, B. and Kohler, J., "An interdigitated 3-dB coupler with three strips," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, pp. 643-645; September 1978.
 - (14) Presser, A., "Interdigitated microstrip coupler design," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, No. 10, pp. 801-805, October 1978.
 - (15) Tajima, Y. and Kamihashi, S., "Multiconductor couplers," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, pp. 795-801; October 1978.
 - (16) Kajfez, D., Paunovic, Z. and Pavlin, S., "Simplified design of Lange coupler," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, No. 10, pp. 806-808; October 1978.
 - (17) Shibata, K., Hatori, K., Tokumitsu, Y. and Komizo, H., "Microstrip spiral directional coupler," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-29, pp. 680-689, July 1981.
 - (18) 진년강, "일반화한 n선로 결합전송구조의 회로망 함수," 대한전자공학회지, 제22권, 제3호, pp. 281-287; 1985년 5월.
 - (19) Yamamoto, S., Azakami, T., and Itakura, K., "Coupled strip transmission line with three center conductors," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-14, pp. 446-461; October 1966.
 - (20) Pavlidis, D. and Hartnagel, H. L., "The Design and performance of three-line microstrip couplers," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-24, pp. 631-640; October 1976.
 - (21) Tripathi, V. K., "On the analysis of symmetrical three-line microstrip circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-25, pp. 726-729; September 1977.
 - (22) Bryant, T. G. and Weiss, J. A., "MSTRIP (Parameters of microstrip)," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-19, pp. 418-419; April 1971.
 - (23) Chin, Y. K. and Tripathi, V. K., "Analysis of the general nonsymmetrical directional coupler with arbitrary terminations," IEEE Proc., Vol. 129, Pt. H, No. 6, pp. 360-362, December 1982.
 - (24) 진년강, "비대칭 방향성 결합기의 임피던스 정합방법," 대한전자공학회지, Vol. 33, No. 10, pp. 593-598; 1984년 10월.
 - (25) Tripathi, V. K., "The scattering parameters and directional coupler analysis of characteristically terminated three-line structures in an inhomogeneous medium," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-29, pp. 22-26; January 1981.
 - (26) Tripathi, V. K., Chin, Y. K., and Lee, H., "Interdigital multiple coupled microstrip DC blocks", 12th European Microwave Conference, September 1982, in Helsinki, Finland.
 - (27) Levy, R., "Transmission-line directional couplers for very broad band operation," Proc. Inst. Elec. Eng., Vol. 112, pp. 469-476; March 1965.
 - (28) Tajima, Y. and Kamihashi, S., "Multiconductor couplers," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, pp. 795-801; October 1978.
 - (29) Collier, R. J. and El-Deeb, N. A., "On the use of a microstrip three-line system as a six-port reflectometer," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-27, pp. 847-853; October 1979.
 - (30) Cristal, E. G., "Coupled-transmission-line directional couplers with coupled lines of unequal characteristic impedance," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-14, pp. 337-346; July 1966.



陳年綱 (Youn Kang CHIN) 正會員
 1934年3月11日生
 韓國航空大學通信工學科卒業
 美國 Oregon 州立大學 (工學碩士)
 美國 Oregon 州立大學 (工學博士)
 韓國航空大學通信·電子工學科教授
 英國航空電子研究所 研修
 美國 Cubic 通信電子會社 (研究員)
 現在: 韓國大學校電子工學科教授
 韓國通信學會長