

새로운 형의 마이크로스트립 매직티에 관한 연구

(A Study on the New Microstrip Magic Tee)

張 益 洙* , 金 鎮 憲**

(Chang, IK Soo and Kim, Jin Hun)

要 約

마이크로스트립에 의하여 매직티를 平面上에 構成할 수 있는 방법을 제시한다.

H-아암은 並列回路로 구성되므로 직접 並列構成을 하였으며, E-아암의 直列結合은 이 마이크로스트립 회로 마운트에 공간을 形成하고 이 回路의 接地面에 갭을 이용하여 等價的으로 直列結合이 되게 한다.

특히 E-아암의 갭에서 최대의 結合이 이루어지도록 개방 및 단락 스텐브를 마이크로스트립으로 만들어 주었으며, 이때 E와 H-아암에 2:1이 되는 임피던스 정합기를 Chevyshev 二係變換器로한 결과 S-Band에서는 각 아암에서 1.25 보다 작은 VSWR을 얻었으며 分難度는 -40 dB 이하로써 理論値와 잘 일치하는 결과를 얻었다.

Abstract

A new coplanar Magic Tee has been formed. The H-arm is made to have a parallel connection on the plane by using a microstrip and the E-arm is serially coupled by a cavity on the circuit mount and also by a gap formed on the microstrip ground plane.

Open and shorted stubs are made to have maximum coupling at the gap of the E-arm, and 2 to 1 impedance matching transformers in the E and H-arms are designed to obtain 2nd order Chevyshev characteristics. The impedance matching characteristic on each arm is satisfactory; with VSWR less than 1.25, and the isolation between E and H arms less than -40dB. These results are in good agreement with theoretical prediction.

1. 序 論

마이크로파 回路에서 매직티는 많이 이용되고 있다. 그러나 매직티의 실제 구조는 E와 H-아암이 立體的 構造를 가지고 있기 때문에 共平面形의 MIC 回路에서 매직티를 구성하는 데에는 구조상의 문제점이 있다. 따라서 MIC 回路에서는 매직티 대신에 branch line hibrid coupler, ring hibrid 등이 주로 쓰이고

있다. 그러나 이들의 特性은 周波數 대역폭이 좁으며 寬대역으로 할 때 이론적으로는 가능하지만 MIC 化 할 때 線路의 特性 임피던스가 커지면 마이크로스트립의 폭이 대단히 작아지기 때문에 제작이 불가능하다. [1] 1970년 F. C. de Ronde [2]는 한 면의 마이크로스트립과 그 뒷면인 接地面에 슬롯트線路를 형성하여 平面形 매직티의 제작이 가능하다는 이론을 제시하였고, 1976년 G. J. Laughlin [3]은 마이크로스트립과 그 接地面의 스트립線路를 이용하여 平面形의 매직티를 구성하였다. 여기서는 스트립線路가 유전체 사이에 샌드위치로 들어가 있기 때문에 정확한 特性 임피던스를 얻기가 곤란하다.

本 論文에서는 위의 두가지 방법을 고려하여, 한 平面上에 마이크로스트립과 그 接地面의 結合을 위한

***, 正會員, 서강대학교 이공대학 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng. Sogang Univ.)
接受日誌; 1980年 1月 11日
(※ 이 논문은 1979년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구된 것임.)

슬롯트 갭을 이용하여 E-아암에서는 等價的으로 直列結合回路가 되게 하고 H-아암은 平面上의 마이크로스트립에 의하여 並列回路가 되도록 하였다.

2. 마이크로스트립 매직티의 원리 및 구조

그림 1에 보인 회로의 매직티는 直列 및 並列의 E, H-타로 구성되며 이 때 S-파라미터는

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & j & j \\ 0 & 0 & -j & j \\ j & -j & 0 & 0 \\ j & j & 0 & 0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

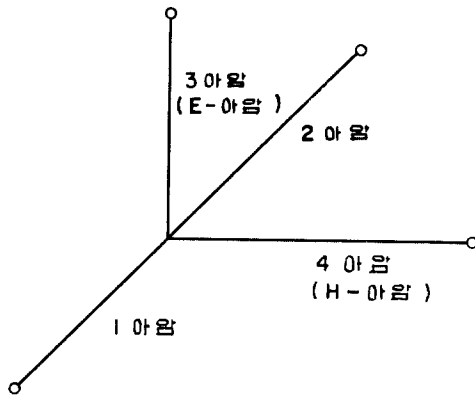


그림 1. 매직티
Fig. 1. Magic Tee.

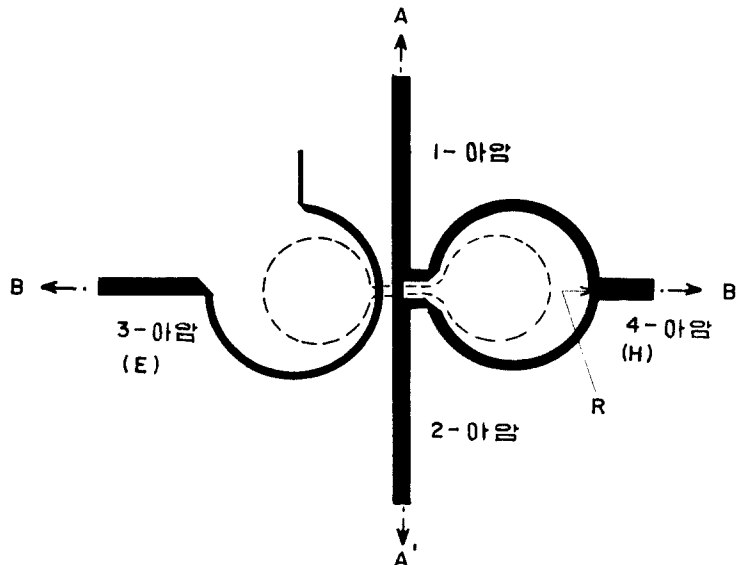
가 되며, 식 (1)에서 보는 바와 같이 각 아암은 임피던스정합이 되며 3-4아암과 1-2아암은 각각 결합이 이루어지지 않도록 구성하여야 한다.

마이크로파 주파수대에서 위의 특성을 가지는 4단자망을 見現하기 위하여 그림 2-(a)에서 보는 바와 같은 平面構造의 마이크로스트립 회로를 생각하자. 그림에서 실선부분은 마이크로스트립이고 점선부분의 내부는 마이크로스트립의 接地面에서 導體面을 제거한 부분이며 또 그림 2-(b), (c)의 단면도에서 보는 바와 같이 회로 마운트에 공간을 형성하였다. 이 공간의 接地面과 닫는 면은 接地面에서 도체가 제거된 부분보다 약간 크며 그 길이는 $\lambda/4$ 정도가 되게 하였다. 그림 2-(a)에서 도체면이 제거된 두 圓 사이에는 윗면의 마이크로스트립과 직교하는 짧은 슬롯트 갭이 형성되어 있으며 이 슬롯트 갭은 도체가 제거된 圓形부분과 회로 마운트에 의하여 양쪽이 개방된 짧은 슬롯트 線路의 효과를 얻을 수 있다.^[1] 또 도체 제거된 부분에 의하여 회로 마운트의 공간이 공진하는 것을 방지하여 준다.

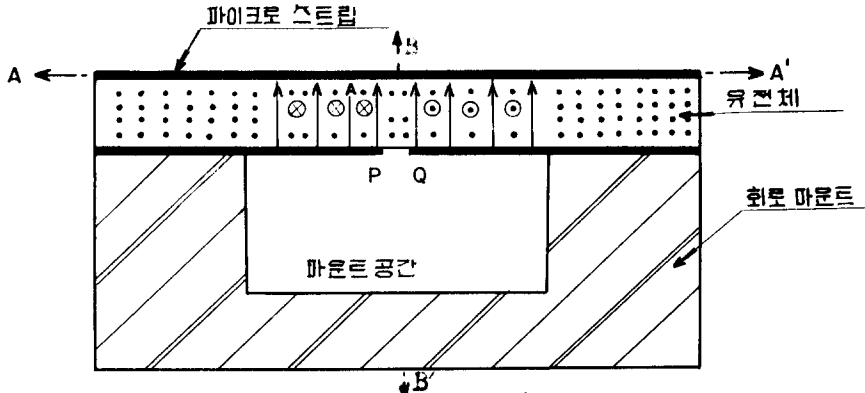
이 회로의 동작특성은 다음과 같다.

(i) H-아암에 전력이 인가 될 때

그림 2-(a)에서 4-아암에 전력이 인가되면 R점에서 半圓弧를 따라서 1, 2아암으로 전력이 분배된다. 이 때 이 두개의 아암에서 전압과 전류는 크기와 위상이 같다. 그림 2-(b)는 그림 2-(a)의 切斷面 AA'에 對한 단면도이다. 그림 2-(b)에서 電場分布

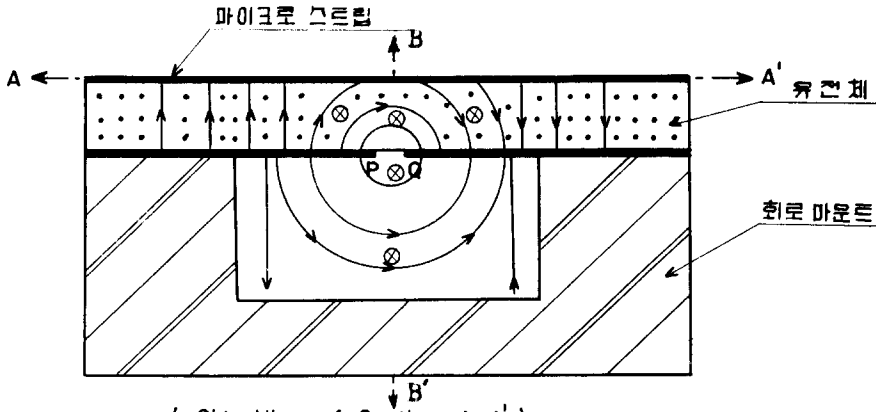


(a) 마이크로스트립회로



(Side View of Section A-A')

(b) H-아암에 전력이 인가될 때 場의 分布



(Side View of Section A-A')

→ 전압
⊗ ⊙ 磁場

(c) E 아암에 전력이 인가될 때 場의 分布

그림 2. 마이크로스트립 매직티의 구조

Fig. 2. Structure of microstrip magic tee.

대칭면 BB'에 대하여 even mode로 형성되기 때문에 슬롯트 겹에서는 전압이 유기되지 못한다. 즉 1, 2 아암은 4-아암에 並列이 된다.

(ii) E-아암에 전력이 인가될 때

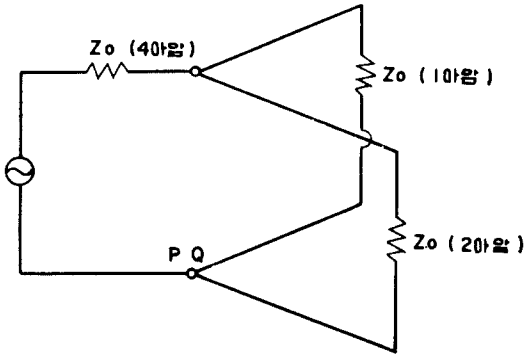
그림 2-(a)에서 3(E)-아암과 슬롯트 겹의 交點에서부터 $\lambda/4$ 의 끝이 개방된 마이크로스트립 스트립이 연장되어 있다. 그 交點에서 磁場이 최대가 되며, 이 磁場에 의하여 슬롯트 겹에 그림 2-(c)에서와 같이 대칭면 BB'에 대하여 電場이 odd mode로 유기된다. 즉 PQ 사이의 겹에서 odd mode로 유기된 전압은 1-아암과 2-아암에 크기는 같으나 위상은 180° 차이로 전달된다. 또한 이 유기된 odd mode의 電

場에 의하여 H-아암 편 $\lambda/4$ 길이를 가지는 두 半圓弧의 交點 R은 전기적으로 短絡點이 된다.

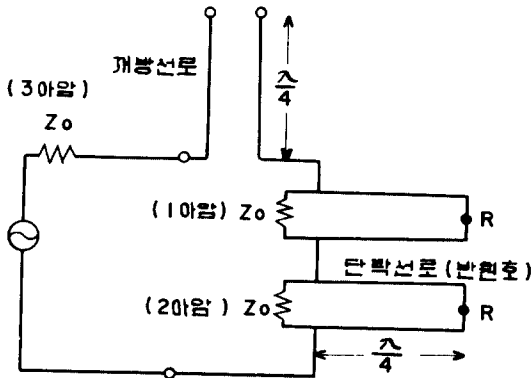
(iii) E와 H-아암의 分離動作 特性

H아암에 전력이 인가될 때는 슬롯트 겹에 even mode로 전압이 유기되며, E-아암에 전력이 인가될 때는 슬롯트 겹에 odd mode로 전압이 유기된다. 이 슬롯트 겹은 수동성의 회로이므로 가역적이어서 슬롯트 겹이 odd mode 일 때 3-아암에 even mode 일 때 4-아암에 결합된다. 따라서 3, 4 아암은 서로 다른 mode로 동작하기 때문에 서로가 분리되는 特性을 가진다. 위와 같은 (i), (ii), (iii)의 동작특성에 의하여 E, H 아암의 동작회로를 분리하여 생각할

수 있다. H-아암에 전력이 인가 될 때 그림 2-(b)에서 BB'에 대하여 even mode가 되며, 마이크로스트립의 특성 임피던스를 모두 Z_0 라 할 때 그림 3-(a)와 같은 병렬로 된 등가회로를 얻을 수 있다. 3-아암에 전력이 인가될 때 그림 2-(c)에서 BB'에 대하여 odd mode로 인가되므로 슬롯트 겹 PQ



(a) H 아암의 등가회로



(b) E 아암의 등가회로

그림 3. H, E 아암의 算價回路

Fig. 3. Equivalent circuit of E, H arms.

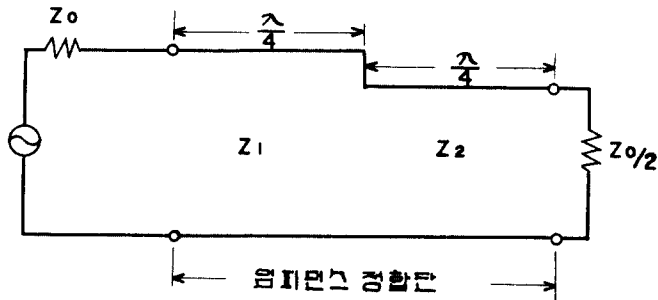
에 유기된 전압에 대하여 양쪽 마이크로스트립은 直列로 된다. 즉 두개의 半圓 마이크로스트립은 R點에서 短絡된 $\lambda/4$ 短絡스터브가 1-아암과 2-아암에 각각 並列로 되면서 1-아암부와 2-아암부는 서로 直列로 연결된다. 3-아암과 3-아암에서 연장된 $\lambda/4$ 開放 마이크로스트립 스텔브도 PQ 사이에 유기된 전압에 대하여 直列로 된다. 따라서 슬롯트 겹이 odd mode로 동작할 때 각 마이크로스트립의 특성임피던스를 Z_0 라 하면 그림 3-(b)와 같은 등가회로를 얻을 수 있다. 3(E), 4(H)-아암은 서로 다른 mode로 동작하고 있으며, 4와 1-아암과 4와 2-아암의 결합은 서로 같고 3과 1-아암과 3과 2-아암의 결합은 서로 크기는 같으면서 위상은 반대가 된다. 또한 마이크로스트립과 슬롯트-겹에서의 손실을 무시하면 대칭성과 unitarity를 만족하여야 하며, 이 경우 S 파라미터는

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & -S_{13} & S_{14} \\ S_{13} & -S_{13} & S_{33} & 0 \\ S_{14} & S_{14} & 0 & S_{44} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

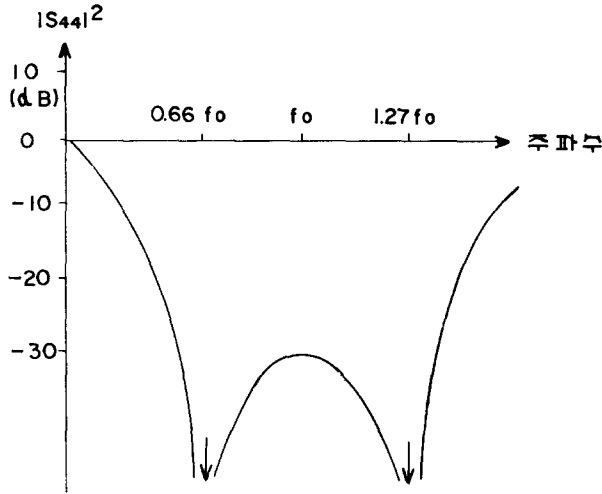
가 된다. 각 아암의 부하를 Z_0 로 할 때 등가회로인 그림 3-(a) 및 (b)에서 보면 H와 E아암은 임피던스 정합이 이루어 지지 않는다. 따라서 $S_{44} \neq 0$, $S_{33} \neq 0$ 가 되므로 $S_{11} \neq 0$, $S_{22} \neq 0$ 가 된다. 만약 E, H 아암에 각각 적합한 임피던스 정합단을 삽입하여 $S_{33} = S_{44} = 0$ 가 되게 하면 S 파라미터의 unitary에 의하여 $S_{11} = S_{22} = 0$ 가 되면서 식 (2)는 식 (1)과 같은 S 파라미터를 가지는 매직티를 얻을 수^[4,5] 있다.

3. E, H 아암의 임피던스 정합

그림 3-(a), (b)의 E, H-아암에 대한 등가회로에서 그림 4-(a), (b)와 같은 임피던스 정합단을 삽입시킨 회로를 생각하자. 廣帶域正合特性은 二係



(a) H 아암의 정합회로



(b) H아암의 반사특성

그림 4. H아암의 임피던스 정합회로 및 그 반사특성

Fig. 4. Impedance matching sections and reflection characteristic of H arm.

Chevyshev 變換器로써 vswr 이 1.2 以下까지의 값을 얻을 수 있으므로 [6], [7] 간단히 $\lambda/4$ 의 2-section 변환기에 의하여 E, H-아암을 임피던스 정합을 시키자.

(i) H-아암의 임피던스 정합

그림 4-(a)에서 개략적인 정합방법(approximate method for multisection quarter wave transformer)에 의하여 2단의 $\lambda/4$ -section 으로 구성할 수 있다.

帶域의 中心周波數 f_0 에서 VSWR = 1.1 이 되는 Chevyshev 特性을 택하면 이 때 각 section 의 特性 임피던스 Z_1, Z_2 [7] 는

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0.81 Z_0 \\ Z_2 &= 0.60 Z_0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

의 값을 얻는다. 이때 H-아암의 반사계수 S_{44} 는

$$|S_{44}| = \frac{1}{3} \left| \frac{T_2 (\sec \theta_m \cos \frac{\pi f}{2f_0})}{T_2 (\sec \theta_m)} \right| \quad \dots\dots\dots (4)$$

가 된다. 여기서 T_2 는 2nd order Chevyshev 多項式이고 θ_m 은 $f = f_0$ 에서 주어진 反射係數로부터 얻을 수 있는 값이다. 만일 $f = f_0$ 에서 VSWR = 1.1로 택하면 $|S_{44}|$ 는 그림 4-(b)와 같은 特性을 얻을 수 있다.

(ii) E-아암의 임피던스 정합

그림 3-(b)의 等價回路로부터 H-아암의 경우와

같이 2 section Chevyshev 정합단으로 정합하자.

E-아암과 直列로 된 $\lambda/4$ -개방 스테브와 1, 2-아암에 병렬로 된 반원형 단락스텝으로 구성되는 결합단이 포함되어야 하므로 그림 5-(a)에서와 같이 임피던스 정합단으로 구성되어야 한다. 실제로 슬롯트 접에서 생기는 정전용량이 있으나 이 값은 폭이 $\lambda/100$ 정도일 때 마이크로파 주파수에서는 무시될 수 있다. [8] 그림에서와 같이 특성 임피던스가 Z_0', Z_0'' 인 2개의 스테브 소자로서 廣帶域의 帶域通過濾波特性을 가지게 한다. 이 결합단은 Butterworth 特性을 가지게 하는 것이 유리하며 [6] 이 때 이 여파특성의 帶域幅을 BW라 할 때 Z_0', Z_0'' 은 다음과 같은 관계를 갖는다. [9]

$$\left. \begin{aligned} Z_0' &= \frac{2\sqrt{2} Z_0}{\tan\left(\frac{\pi BW}{4f_0}\right)} \\ Z_0'' &= \frac{2 Z_0 \tan\left(\frac{\pi BW}{4f_0}\right)}{\sqrt{2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

가 되며 f_0 는 中心周波數이다.

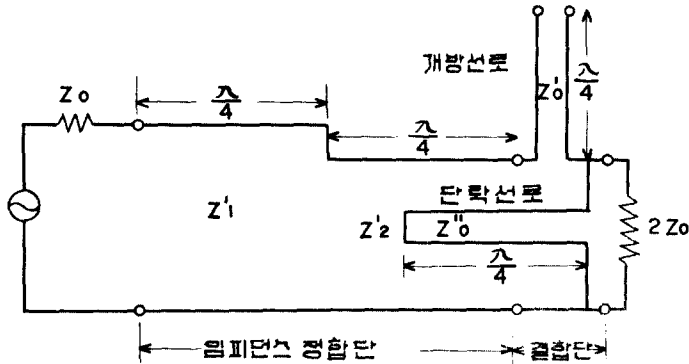
식 (5)에서 Z_0'' 의 값은 식 (3)의 Z'' 과 관계가 있다. 즉 그림 5-(a)의 결합단을 구성하는 $\lambda/4$ -단락선로는 그림 4-(a)의 임피던스 정합단 중 Z_2 에 해당하는 $\lambda/4$ -변환기로 구성되기 때문이다. 이 Z_2 단은 H-아암에서는 2개의 반원호가 서로 並列이지만

E-아암의 결합단 스텝으로 작용할 때는 서로 직렬이 된다. 따라서 $Z_0'' = 4 Z''$ 의 관계를 가지므로 식 (3)의 Z'' 의 값을 택하여야 하며 이 때 H-아암의 VSWR 조건을 택하면 식 (5)에 의하여 $BW = 1.33 f_0$ 인 결합단 대역폭을 얻는다. 이 값의 BW에 대하여 f_0 를 中心으로 한 octave band에서는 결합단 입력임피던스 값이 $2 Z_0$ 에서 4.1% 이내의 변화를 가진다. 따라서 E-아암의 정합단에도 H-아암에서와 같이 개략적인 정합방법을 직접 이용할 수 있다. H-아암에서는 $Z_0/2$ 의 부하를 Z_0 에 정합시키지만 E-

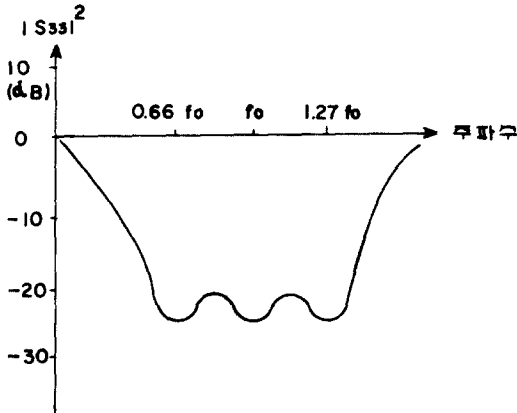
아암에서는 $2 Z_0$ 의 부하를 Z_0 에 정합시켜야 하기 때문에 H-아암에서 전원과 부하를 바꾸어서 생각하 E-아암 임피던스 정합단의 특성 임피던스 Z_1' , Z_2' 은

$$\begin{aligned} Z_1' &= 1.21 Z_0 & \dots\dots\dots (6) \\ Z_2' &= 1.22 Z_0 & \dots\dots\dots \end{aligned}$$

이 된다. 여기서 E-아암의 반사계수는 식 (4)에서와 거의 같이 나타나며 이 때의 실제 값은 그림 5-(b)에서 보는 바와 같다.



(a) E아암의 정합회로



(b) E아암의 반사특성

그림 5. E아암의 임피던스 정합회로 및 그 반사특성
Fig. 5. Impedance matching sections and reflection characteristic of E arm.

따라서 임피던스 정합을 2nd order Chebyshev 변환기로 하였을 때 E, H-아암에서의 정합 특성은 octave band에서 반사계수가 -20 dB 이하가 되게

할 수 있다.

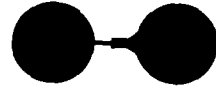
4. 製作 및 특성측정

S-band에서 中心周波數를 $f_0 = 3 \text{ GHz}$ 로 하고 2~4 GHz 帶域幅에서 각 아암의 VSWR이 1.2(반사계수 ~ -20 dB)이하가 되게 한다. 각 아암의 특성 임피던스는 50 ohm이므로 E, H-아암에 直列, 並列에 대한 임피던스 正合段을 삽입한다. 앞 節에서 $\lambda/4$ -변환기 2 sections로써 Chebyshev 특성을 갖게 하면 요구되는 특성을 얻을 수 있음을 알았다. 식 (1) 및 (5)에 의하여 H, E-아암의 임피던스 正合段을 얻을 수 있다. 또한 E-아암의 結合段은 $Z_0'' = 4 Z''$ 의 관계로부터 BW를 구하고 이값을 식 (5)에 대입하여 Z_0' 을 구하면 된다. 위와 같은 순서로 구해진 각 아암의 正合단 및 結合단에서 각 section의 특성 임피던스는 표 1과 같다.

표 1. 正合段과 結合段의 특성임피던스(단위 : ohm)

H-아암	E-아암	E의 결합단
$Z_1 = 40.5$	$Z_1' = 60.4$	$Z_0' = 82.6$
$Z_2 = 30.2$	$Z_2' = 81.0$	$Z_0'' = 120.8$

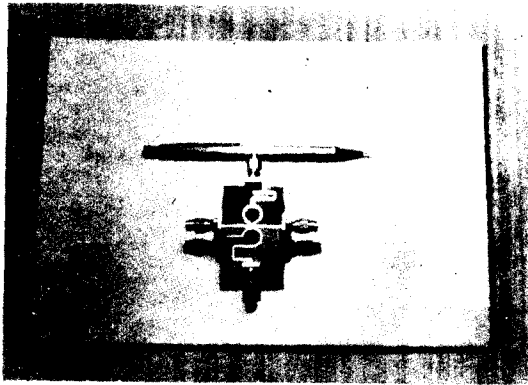
실제 제작에 사용한 재료는 比誘電率 $G=2.43$, 誘電體두께 $h=0.525\text{ mm}$, 基板의 도체두께 $t=0.025\text{ mm}$ 인 copper clad teflon 기판이다. 제작된 매직티는 그림 6-(a)와 같으며 제작에 이용한 마이크로스트립 회로의 마스크와 그 뒷면 스롯트 겹의 마스크는 그림 6-(b), (c)와 같다. 각 부분의 특성 임피던스값이 표 1과 같게 하기 위하여 I. J. Bahl^[10]이 제시한 관계식을 이용하였으며, 정합단 및 결합단의 $\lambda/4$ -section의 길이를 정확히 얻기 위하여 Wheeler^[11]가 제시한 유효비유전율의 관계식을 이용하였다.



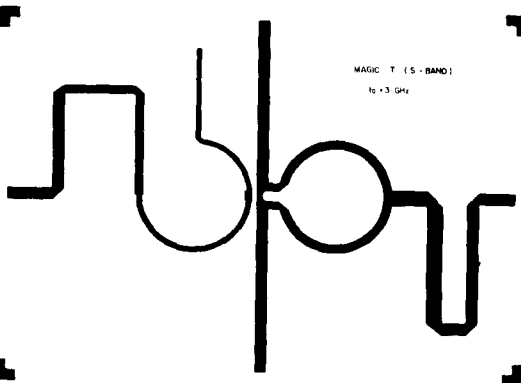
(c) 접지면의 스롯트 겹 마스크

그림 6. 제작한 매직티와 그것의 마스크

Fig. 6. Realized magic tee and its masks.



(a) 실제 제작한 매직티



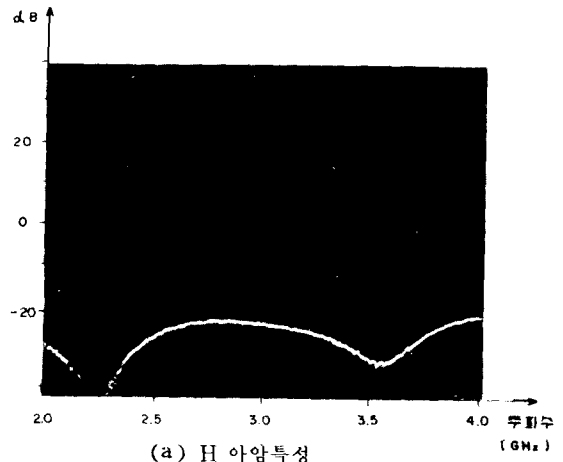
(b) 마이크로스트립회로마스크

마이크로스트립회로의 뒷면에서 스롯트 겹의 효과를 충분히 얻기 위하여 마운트공간을 $3\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ (길이)로 하였으며 이 공간은 스롯트 겹과 양쪽의 원형부분에 의하여 전기적으로 노출되어 있다. 겹의 폭은 0.25 mm 로 하였으며 이 칫수의 크기에서 靜電容量이 무시됨을 실제 측정에서 확인 하였다. 또한

회로마운트는 청동을 사용하였으며, 각 아암의 connector는 OSM 14107 (VS WR<1.05, S-band)를 이용했다.

이 매직티의 특성 측정은 Network Analyzer (HP 8410S) 시스템에 의하여 수행되었다. H, E-아암에서 임피던스 정합특성은 그림 7-(a), (b)와 같으며, H-아암에서는 2~4 GHz 대역에서 반사계수가 -25 dB 이하이며 E-아암에서는 -20dB 이하로써 이론치와 잘 일치되는 값을 얻었다. 또한 1, 2-아암에서의 임피던스 정합특성도 -20dB 이하의 값이 됨을 확인 하였다. E, H-아암사이의 分離度(isolation)는 -40dB 이하이며, 1, 2-아암의 分離度는 -20dB 정도를 얻었다.

E-아암에서 전력이 인가될 때 1, 2-아암의 위상 특성은 그림 8-(a), (b)와 같으며 이것은 이론적으로 기대한 것과 잘 일치한다.



(a) H 아암특성

* 제작회사(美 3M)가 제시한 값

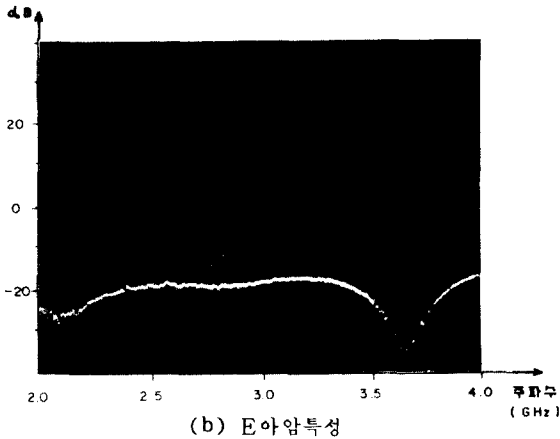


그림 7. H, E아암의 임피던스 정합특성 측정치
Fig. 7. Impedance matching characteristic measured in H, E arms.

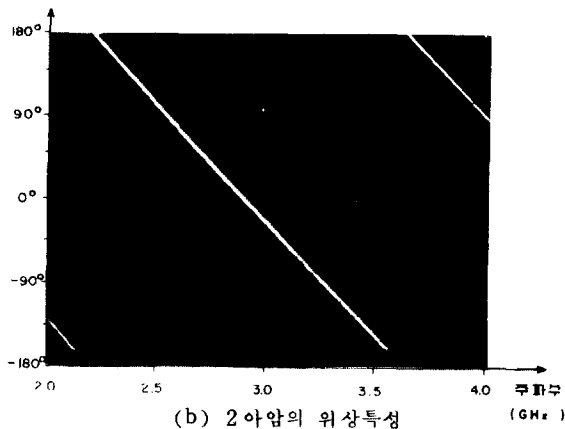
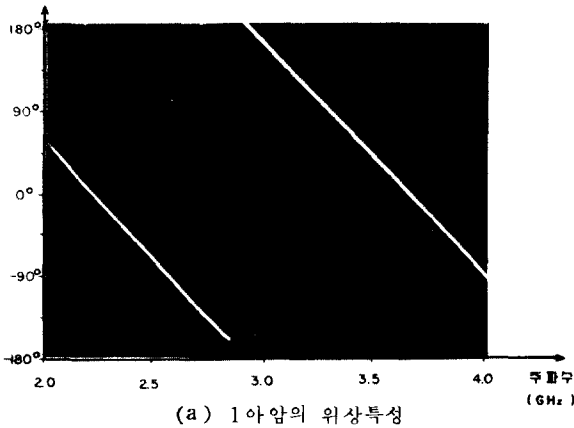


그림 8. Odd mode 때 1, 2아암의 위상특성
Fig. 8. Phase characteristics of 1, 2 arms at odd mode.

5. 結 論

마이크로스트립회로에서 그 接地面의 스롯트 겹과 회로 마운트의 공간을 효과적으로 이용하여 廣帶域 特性을 갖는 平面形 매직터를 實現할 수 있음을 확인 하였다.

$\lambda/4 - 2$ sections Chebyshev 임피던스 정합단으로 세 각 아암의 반사계수를 -20 dB 이하로 할 수 있으며, E, H 사이의 分離度가 -40 dB, 1, 2 - 아암 사이의 分離度가 -20 dB 이하의 廣帶域 매직터를 얻었다. 이것은 Ronde, Laughlin이 제시한 그것보다 제작이 편리하며 특성도 우수함을 보이고 있다.

끝으로 본연구는 1979년도 문교부 연구 조성비에 의하여 수행되었으며 또한 측정장치의 이용에 많이 협조해 주신 공군사관학교 전자공학과 교수님들께 깊은 謝意를 전합니다.

參 考 文 獻

1. H. Howe, "Stripline Circuit Design" Artech House, IND, 1974.
2. F. C. de Ronde, "A New Class of Microstrip Directional Coupler", IEEE G-MTT International Microwave Symposium Digest, 1970.
3. G. J. Laughlin, "A New Impedance-Matched Wide-Band Balun and Mistic Tee", IEEE Trans. Vol. MTT-24, No. 3, March 1976.
4. J. A. Altman, "Microwave Circuits", Van Nostrand, New York, 1964.
5. C. G. Montgomery, "Principles of Microwave Circuits" McGraw-Hill, New York, 1948.
6. G. L. Matthaei, L. Young and E. M. Jones, "Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures", McGraw-Hill, New York, 1964.
7. R. E. Collin, "Foundation for Microwave Engineering", McGraw-Hill, New York, 1966.
8. H. M. Altschuler, A. A. Oliner, "Discontinuities in the Center of Symmetric Strip Transmission Line", IRE Trans. on MTT.
9. 張益洙, 朴麒洙, "마이크로스트립線路 廣帶域 마이크로波 周波數辨別器에 관한 研究", 대한전자공학회지 論文 70-16-3-6. 1979.

10. I. J. Bahl O. K. Trivedi, "A Designer's Guide To Microstrip Line", Microwaves, May, 1977.
11. H. A. Wheeler, "Transmission-line Properties of Parallel Strips Separated by a Dielectric Sheets", IEEE Trans. MTT. Vol-13, March, 1955.
12. B. Schiek and J. Kohler, "An Improved Microstrip-to Microslot Transition", IEEE Trans. MTT. April, 1976.

