

위성통신용 고온초전도 3dB 커플러의 설계 제작 및 특성해석

정동철, 최효상*, 한태희* 황종선**
 우석대학교, 조선대학교*, 남도대학교**

Design and Characterization of HTS 3dB Coupler for Satellite Communication

Dong-Chul Chung, Hyo-Sang Choi*, Tae-Hee Han* and Jong-Sun Hwang**
 Woosuk Univ, Chosun Univ*, Namdo Univ.**

Abstract 이 논문에서는 고온초전도체로 제작된 위성통신용 고온초전도 3dB 커플러에 대하여 보고한다. 커플러 제작에 사용된 초전도체는 MgO 기판위에 증착된 YBCO 고온초전도 박막이었다. 중심 주파수는 408 MHz 대역폭은 위성통신 기지국용 전력 결합기가 안정적으로 동작하도록 15 MHz의 광대역을 설정하였다. 설계를 위해 기존의 분포정수회로를 ABCD Matrix를 이용해서 집중정수 회로로 전환하였고, 컴퓨터 모의실험을 위해 em Sonnet 상업용 프로그램을 사용하였다. 컴퓨터 모의 실험시 초전도체의 저항은 0으로 하였고, 기타 유전손실은 없는 것으로 가정하였다. 측정결과 우수한 대역폭 특성을 보여주었지만, 대체적으로 12 MHz의 대역폭이 측정되었으며 이는 설계시 모멘트 법 적용에 따른 계산 실패의 정밀도에서 기인하는 것으로 보이며 좀더 세밀한 계산 실패를 사용할 경우, 정확한 계산이 가능할 것으로 판단된다..

Key Words : 커플러, 초전도체, 위성통신, YBCO, 집중정수회로

1. 서론

전력분배기와 방향성 결합기는 마이크로파 전력의 결합이나 분배에 사용되는 수동소자이다. T Junction는 3 port 전력분배기의 예가 될 수 있으며 4 port 전력분배기는 방향성 결합기나 하이브리드 커플러를 들 수 있다[1].

방향성 결합기는 여하한 전력 분배에 사용될 수 있도록 설계할 수 있는데 반하여 하이브리드 Junction은 동등한 전력 분배에만 사용될 수 있다. 또한 하이브리드 junction은 출력 포트 간에 90° (quadrature)나 180° (magic-T) 위상 변위를 일으킨다[2-3].

그러나 방향성 결합기를 집중정수 회로를 이용해서 소형화할 경우 미세선폭에 따른 극심한 표면 저항의 증가로 인해 실제 제작 구현은 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 일반전도체로는 구현이 불가능한 집중정수형 3dB 결합기를 고온초전도체를 이용해서 제작하고 그 특성을 해석하였다. 설계를 위해 ABCD 행렬을 이용 분포정수 회로를 집중정수회로로 변환하였다. 변환된 집중정수회로에서 계산된 인덕턴스와 커패시턴스 값을 실제 상업용 계산 프로그램인 em Sonnet을 이용하여 컴퓨터 모의 실험을 실시하였다. 제작을 위해 Theva사에서 구매한 MgO 기판 위에 증착된 YBCO 초전도체를 사용하였다. 회로 구현을 위해 드라이 에칭을 실시하였고, 측정용 칩구를 제작하여 냉각기 속에서 HP8510C 회로망해석기를 이용하여 그 특성을 측정하였다[4].

2. 3dB Coupler의 설계 및 제작

2.1 ABCD 행렬해석을 통한 집중정수회로 설계

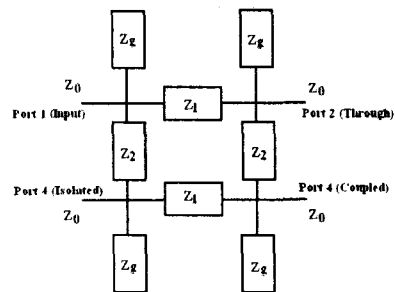


그림 1. 집중정수 Branch 선로 결합기

그림 1과 같은 집중정수 branch 선로 결합기가 있다고 고려하면, 우수 및 기수 모드 해석을 위해서는 아래 그림과 같은 우수와 기수 모드 등가회로가 필요하다.

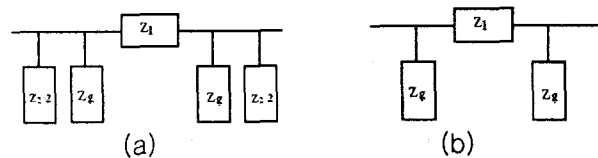


그림 2. Branch 선로의 (a) 기수 모드 (b) 우수모드

이로부터 ABCD 행렬을 각자 모드에 대하여 구하면 우수

모드는 다음과 같고

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_g & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_g \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_g & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_g} & Z_1 \\ \frac{2 + Z_1}{Z_g} & 1 + \frac{Z_1}{Z_g} \end{bmatrix} \quad (1)$$

기수 모드는 아래 식과 같다

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_p & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_p & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_p} & Z_1 \\ \frac{2 + Z_1}{Z_p} & 1 + \frac{Z_1}{Z_p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 Z_p 는 Z_g 와 $Z_2/2$ 의 병행 등가 임피던스 값이다. 이상적 커플러에 대하여 $\Gamma_e = \Gamma_o = 0$ 이고 이때 $B/Z_o = Z_o C$ 이다 따라서

$$ZETA_0^2 = \frac{B_e}{C_e} = \frac{Z_1 Z_g^2}{2Z_g + Z_1} \Rightarrow Z_1 = \frac{2Z_o^2 Z_g}{Z_g^2 - Z_o^2} \quad (3)$$

여기서 투과 계수는

$$T_e = \frac{1}{A_e + \frac{B_e}{Z_g}} = \frac{1}{1 + \frac{Z_1}{Z_g} + \frac{Z_1}{Z_o}} \quad (4)$$

이고 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$Z_g^2 (T_e - 1) + Z_g (2T_e Z_o) + (2T_e Z_o^2 + Z_o^2 - T_e Z_o^2) = 0 \quad (5)$$

방정식 (4)와 (5)로부터 Z_1 과 Z_o 값을 얻을 수 있다. 또 다른 임피던스 Z_2 를 얻기 위해 기수 모드 해석으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$Z_o^2 = \frac{B_o}{C_o} = \frac{Z_1}{\frac{2}{Z_p} + \frac{Z_1}{Z_p^2}} \Rightarrow (-Z_1)Z_p^2 + (2Z_o^2)Z_p + Z_1 Z_o^2 = 0 \quad (6)$$

$$Z_2 = \frac{2Z_p Z_g}{Z_g - Z_p} \quad (7)$$

상기의 접근 방식을 이용하여 이제 두 개의 다른 커플러가 주파수 408 MHz를 기반으로 하여 설계될 수 있으며 최종 결과는 아래 식과 같다

$$\begin{aligned} Z_g &= -120.9j \Rightarrow C_g = 0.6pF \\ Z_1 &= 35.3j \Rightarrow L_1 = 2.8nH \\ Z_2 &= -49.9j \Rightarrow C_2 = 1.6pF \end{aligned} \quad (8)$$

3. 결과 고찰 및 결론

최종적으로 (8)식에 의거하여 제작된 집중정수형 등가회로를 그림 3에 나타내었다. 회로는 전체적으로 인덕턴스와 커패시턴스 50옴 특성 임피던스 포트에 이루어졌으며 측정시 획득 데이터를 제외한 나머지 포트는 50 옴 더미 저항을 이용하여 포트를 차단 후 각 포트별 S-파라미터를 측정하였다.

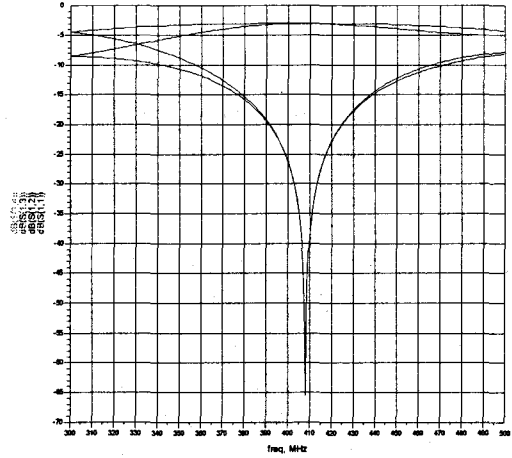


그림 3. 측정된 3dB 커플러의 S 파라미터 특성

그림에서 보여지는 것처럼 중심주파수 408 MHz 대역폭 12 %의 양호한 통과특성을 보여주고 있다. 특히 신호의 차단이 필요한 S11과 S14의 경우 -60dB 이상의 양호한 차단특성을 보이고 있다. 또한 통과 특성을 보여야 할 S12와 S13 통과 특성은 402 MHz에서부터 414 MHz에 이르기 까지 3dB 전력분배에서 오차가 -0.01 dB에서 0.01dB까지의 우수한 특성을 보여주고 있어 향후 위성통신용 전력분배기에 이용시 매우 유효한 소자로 사용되어질 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] M. J. Lancaster, *Passive Microwave Device application of high temperature superconductors*, Cambridge University Press. Cambridge UK, 1997.
- [2] K. Y. Kang et. al, " YBa₂Cu₃O_{7-x} superconducting microstrip filters on dielectric substrates, " SPIE Vol. 2156 p. 181, 1994
- [3] B. Oh et. al., " A compact two-pole X-band high-temperature superconducting microstrip filter," IEEE Trans Appl. Supercond. vol. 5, no. 2, pp. 2667 - 2670, 1996.
- [4] J. S. Kwak, G. D. Lee, C. O. Kim and J. P. Hong, " Microwave properties of pulsed-laser SrTiO thin films at low temperature", Proc. of Korean superconductivity Society Meeting pp. 207 - 211, 2000.