

RLH-TL(Right/left-handed transmission line)을 이용한 8 port 전력 분배기 설계 및 분석

°김형미, 이범선

*경희대학교, 경희대학교

yupgirl@empal.com, bomson@khu.ac.kr

Design and Analysis of 8-Port Power Divider for Using RLH-TL(Right/Left-Handed Transmission Line)

Hyungmi Kim, bomson Lee

Kyung Hee University, Kyung Hee University

Abstract

본 논문에서는 right/left-handed 특성을 이용한 8 포트 동위상 전력분배기를 제안한다. 이 전력분배기는 사용되는 전송선의 전기적 길이에 상관없이 동위상 분배가 가능하기 때문에 전력 분배기의 크기를 크게 줄일 수 있다. 전력분배기에 사용되는 전송선의 길이가 짧을수록 광대역 특성을 보이며 분배기의 크기는 줄어든다.

영문 요약

In this paper, we present the 8 port in-phase power divider using right/left-handed transmission line. The proposed power divider splits the input power into 8 port regardless of the electrical length of transmission lines. Its size is much smaller than the conventional one. As the length of the transmission line in the power divider decreases, its bandwidth becomes wider.

Key words : Right/left-handed, metamaterial, power divider, transmission line

1. 서론

전송선에 직렬 커패시터와 병렬 인덕터를 삽입하여 LH (left-handedness)를 부가한 전송선에 대한 연구가 활발하다. LH를 가진 전송선은 위상속도가 0보다 작은 특성을 가지고 오른쪽으로 파가 진행할수록 위상이 빨라지는 특성을 보인다. 이 특성을 이용하여 전송선의 길이를 줄임으로서 소자의 크기를 줄일 수 있다 [1]. 또한 기존의(right-handed, RH) 전송선만을 사용한 소자에 LH 특성을 추가하

여 성능을 향상시키는 연구가 발표되고 있다[1-3]. 본 논문에서는 2.3 GHz에서 동작하는 RLH-TL 전송선을 이용한 8 port 동일 크기, 동위상 전력분배기를 제안한다. 기존의 전송선으로 동위상 전력 분배를 하기 위해서는 전송선의 전기적 길이가 한파장인 것을 사용해야 한다. 그러나 RLH-TL을 이용한 전력 분배기는 임의의 길이를 갖는 전송선을 이용하여 동일 크기, 동위상 전력 분배를 할 수 있다. RLH-TL 전력 분배기는 사용되는 전송선의 길이가

짧을수록 더 넓은 대역 특성을 보인다.

2. 본 론

가) RLH-TL 단일셀 모델

그림 1은 RH 전송선에 직렬 커패시터와 병렬 인덕터가 추가된 LH 전송선 단일 셀 모델이다[1]. Z_0 와 $kd(=\theta)$ 는 각각 RH 전송선의 특성임피던스와 전

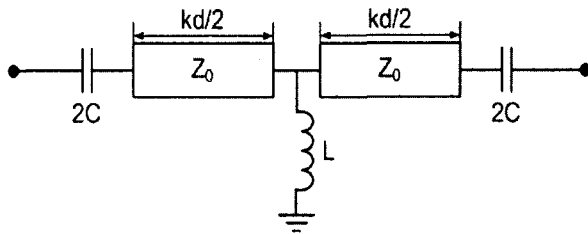


그림 1. R. Islam이 제안한 Left-Handed 전송선 단일 셀 모델

기적 길이 이다. 그림 1의 단일 셀 모델이 주기적으로 연결된 전송선에 대한 분산은 식 (1)과 같이 주어진다[4].

$$\cosh(\alpha d + j\beta d) = \cos\theta + \frac{ZY}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2} + \frac{j}{2} \left(\frac{Z}{Z_0} + \frac{Y}{Y_0} \right) \sin\theta \quad (1)$$

여기서 $Z = \frac{1}{j\omega C}$, $Y = \frac{1}{j\omega L}$ 이다.

식 (1)에서 $\alpha = 0$ 이고 $\beta = 0$ 이 되는 조건으로부터 저지대역 cutoff 주파수를 식 (2)와 식 (3)과 같이 얻을 수 있다 [4]. 여기서 v 는 RH 전송선만의 위상 속도이고 본 논문에서 $\epsilon_r=1$ 을 가정하였기 때문에 v 는 빛의 속도 c 와 같다.

$$w_{c,1} = \sqrt{\frac{v}{CZ_0d}} \quad (2)$$

$$w_{c,2} = \sqrt{\frac{v}{LY_0d}} \quad (3)$$

식(4)은 식 (2)과 식 (3)이 같아져서 저지대역이 0이 되는 조건이며 매칭 조건이라고 말한다 [4].

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

표 1은 2.3 GHz에서 RH 전송선만의 전기적 길이 kd 에 따른 매칭 조건을 만족하는 L과 C값이다. 동 위상 급전을 위해서 2.3 GHz에서 $\beta=0$ 이 되어야 한

kd	15°	30°	60°	90°
L	13.216	6.5509	3.1663	2.0024
C	5.2865	2.6204	1.2665	0.801

표 1. RH-TL의 전기적 길이에 따른 L과 C

다. 그림 2는 주파수에 따른 감쇄상수와 전파상수를 보여준다. 저주파에서 저지대역 특성을 보인다. $\beta=0$ 이 되는 2.3 GHz를 중심으로 낮은 주파수대역은 $\beta < 0$ 이며 LH특성이 우세하고, 높은 주파수대역은

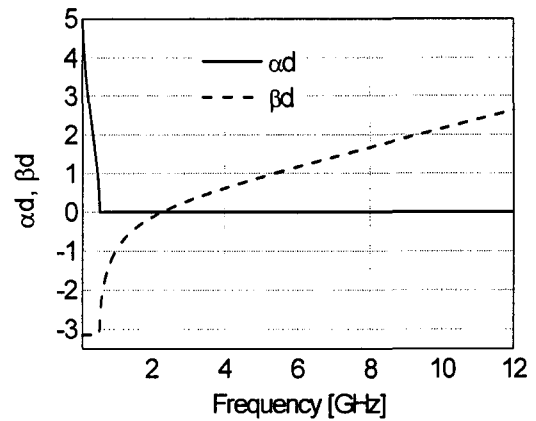


그림 2. 주파수에 따른 감쇄상수와 전파상수

$\beta > 0$ 이며 RH 특성이 우세하다. 그림 3은 주파수에 따른 위상속도 (v_p) 관계 그래프이다. 위상속도와 전파상수의 관계식 $v_p = \omega/\beta$ 으로부터 2.3 GHz를 중심으로 낮은 주파수대역은 $v_p < 0$ (LH 대역)이며, 높은 주파수대역은 $v_p > 0$ (RH 대역)이다. 주파수가 높

아질수록 위상속도는 그룹속도 (3×10^8)에 가까워진다. 2.3 GHz에서는 $\beta=0$ 이기 때문에 v_p 가 무한대

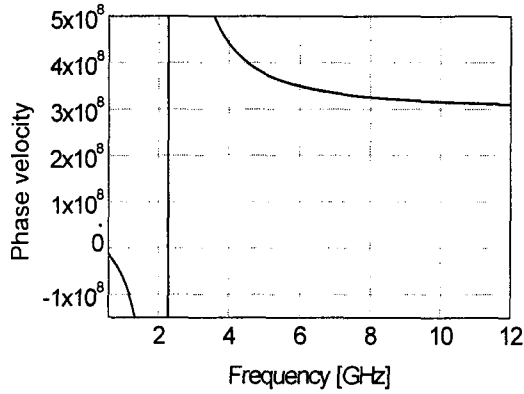


그림 3. 주파수에 따른 위상속도

이다. 그림 4는 그룹속도 (v_g)를 주파수의 함수로 그린 것이다. 그룹속도와 전파상수의 관계식 $v_g = 1/(d\beta/d\omega)$ 으로부터 그룹속도는 그림 2의 주파수와 전파상수 관계 그래프의 접선 기울기와 같고 항상 0보다 크다. 주파수가 높아지면 그룹속도는 RH 전송선만의 위상 속도 ($v=c$)에 가까워진다. $\beta=0$ 인 2.3 GHz에서는 그룹속도가 RH 전송선의 위상속도 (v)의 반이다.

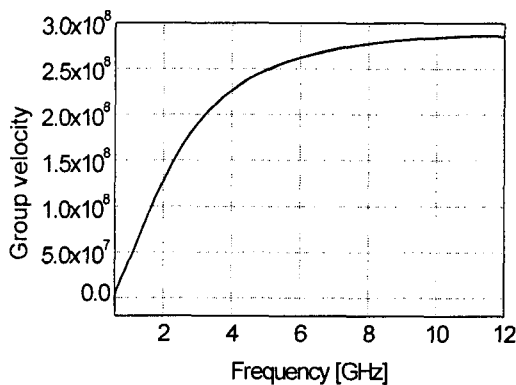


그림 4. 주파수에 따른 그룹속도

나) 8 port 전력 분배기 설계 및 분석

그림 5는 RLH-TL을 이용한 8 port 동일 크기, 동위상 전력 분배기 이다. 기존의 전송선으로 동위상 전력 분배를 하기 위해서는 전송선의 전기적 길이

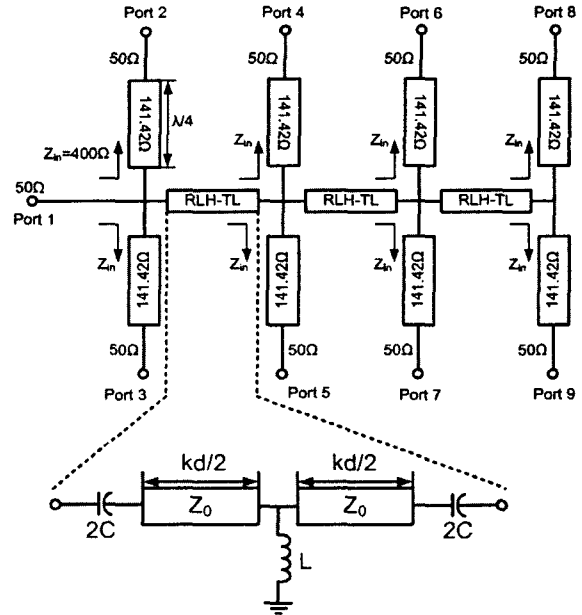


그림 5. RLH-TL을 이용한 8 포트 동일 크기, 동위상 전력 분배기

가 한파장의 정수배 인 것을 사용해야 한다. 그러나 RLH-TL 전송선의 길이는 한파장이 아니어도 전송선 양단에서의 위상차이가 0이 되게 만들 수 있기 때문에 전송선 길이를 임의로 사용할 수 있는 이점이 있다. 각 노드에서 동일 크기로 급전하기 위해서 각 노드에서 바라본 입력 임피던스는 400 Ohm 이 되어야 하고 동위상 급전을 위해 RLH-TL 양단의 위상차이는 0° 이다. 그림 6은 2.3 GHz 대역에서 기존의 전력 분배기 ($kd=360^\circ @2.3 \text{ GHz}$) S-parameter 결과이다. 8 포트에 약 -9dB씩 전력이 각각 분배되었다.

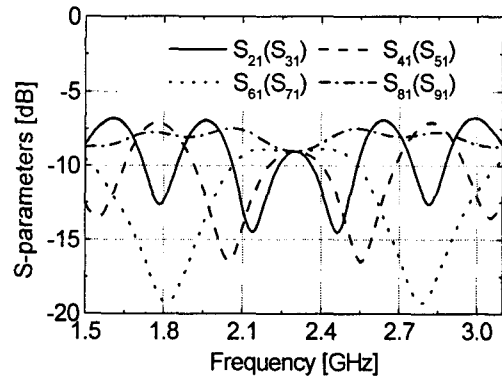


그림 6. 2.3 GHz에서 동작하는 기존의 동일 크기, 동위상 전력분배기 ($kd=360^\circ @2.3 \text{ GHz}$)

그림 7은 2.3 GHz 대역에서 $kd=30^\circ$ 인 RLH-TL을 사용한 전력 분배기 S-parameter 결과이다. 구조의 대칭성으로 인해 $S_{21}=S_{31}$, $S_{41}=S_{51}$, $S_{61}=S_{71}$, $S_{81}=S_{91}$ 이다. 두 경우 모두 전력이 분배되는 노드에서 위상이 0이므로 8 포트가 모두 90° 로 ($141.42\Omega \lambda/4$ 트랜스포머에 의한) 동위상이다. RLH-TL 전력 분배기는 소자의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 더 넓은

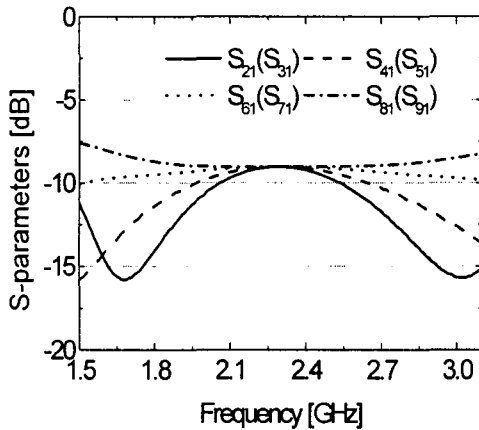


그림 7. 2.3 GHz에서 동작하는 RLH-TL 동일 크기, 동위상 전력분배기 ($kd=30^\circ @2.3$ GHz)

주파수 대역에서 사용할 수 있다. 그림 8은 RLH-TL의 RH-TL (Right-handed transmission line) 길이에 따른 S-parameter 결과이다. 전송선의 길이가 짧을 수록 광대역 특성을 보인다. 즉, 짧은 RLH-TL으로 전력 분배기를 설계하면 소자의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 광대역 특성까지 얻을 수 있다.

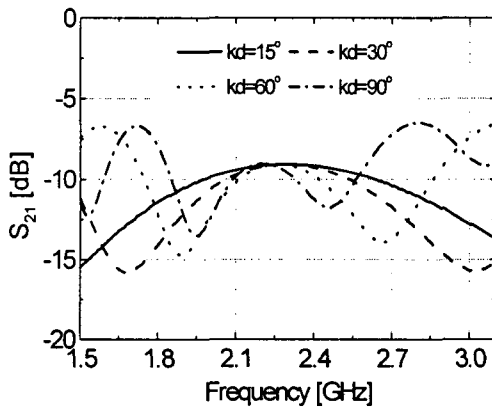


그림 8. kd에 따른 S-parameter 결과

3. 결론

본 논문에서는 RLH-TL을 이용한 동위상 8 포트 전력 분배기를 설계하였다. RLH-TL은 주파수에 따라 $\beta=0$, $\beta<0$, 와 $\beta>0$ 특성을 모두 가지며 삽입되는 인덕턴스와 커패시턴스 값을 조절하여 특정 주파수에서 전송선의 전파상수를 0이 되게 할 수 있다. 이를 이용한 RLH-TL 동위상 전력 분배기는 기존의 전력 분배기의 크기를 크게 줄일 수 있고, 광대역 특성을 얻을 수 있다. 또한 RLH-TL에 사용되는 RH 단일셀 전송선 길이를 줄임으로서 더 넓은 광대역 특성을 얻을 수 있다.

참고 문헌

[1] Marco A. Antoniadis, George V. Eleftheriades, "Compact linear lead/lag metamaterial phase shifters for broadband applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, pp.103-106, Feb. 2003.
 [2] Christophe Caloz, Tatsuo Itoh, "A novel composite right-/left-handed coupled-line directional coupler with arbitrary coupling level and broad bandwidth", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, pp. 980-992, Mar. 2004.
 [3] Rubaiyat Islam, George V. Eleftheriades, "Phase-agile branch-line couplers using metamaterial lines", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, pp. 340-342, Jul. 2004.
 [4] George V. Eleftheriades, Ashwin K. Iyer, Peter C. Kremer", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, pp. 2702-2712, Dec. 2002.