

논문 2010-47TC-6-3

고조파 제거 기능을 갖는 브랜치라인 커플러의 설계

(Modified Design of Branch-Line Coupler for Harmonic Suppression)

김종성*

(Jong-Sung Kim)

요약

이 논문은 브랜치라인 커플러에서 고조파 신호를 제거할 수 있는 변형된 설계 방법을 제안한다. 기존의 1/4 파장 길이의 전송선로의 중앙에 개방형 스테르브를 추가한 후에, 설계 주파수에서는 커플러의 기능을 제공하고 고조파 주파수에서는 전송을 제한하는 특성을 갖는 커플러의 해를 구하는 것이 가능하다. 이의 검증 예로서 1.0 GHz에서 커플러를 제작하였으며 2.0 GHz 와 3.0 GHz에서 -37.5 dB 및 -42.7 dB 의 억압비를 나타내었다.

Abstract

This paper presents the modified design that can reject the harmonic signals in the branch-line coupler. After adding open stubs at the center of quarter-wavelength lines of the traditional design, all network parameters can be determined by network equivalence, in order to maintain the conventional function at the operating frequency and suppress its harmonic terms to be chosen. Experimental results show the second and third harmonic suppressions to be -37.5 and -42.7 dBs, while maintaining conventional performance at the fundamental frequency.

Keywords : Branch-line coupler, Harmonic Suppression

I. 서론

브랜치라인 커플러는 4-포트 네트워크로서 하나의 입력 신호를 2개의 출력 포트에 분할하는 기능을 하며 나머지 하나의 포트와는 아이솔레이션 기능을 제공한다. 이는 2개의 신호를 합성하거나 분할하는 기능을 제공한다. 이는 대칭형 증폭기, 대칭형 믹서 및 반사형 위상변위기의 입출력부에서 신호를 분할 및 합성하는데 주로 이용된다. 이 커플러는 동작주파수와 이의 홀수배 주파수에서 이상적인 특성을 나타내고 짝수배 주파수에서는 일정한 한계를 갖는 특성을 나타낸다. 기본 주파수에 추가하여 고조파에서의 특성으로 인하여 브랜치

라인 커플러가 사용되는 대칭형 증폭기나 믹서의 경우에 IMD (Intermodulation Distortion) 로 인한 동작대역의 범위의 제한을 가져온다. 이를 막아주기 위해서는 고조파 주파수에서 신호의 전파를 막아주는 기능을 추가할 필요가 있다^[1].

이 논문에서는 기존의 브랜치 라인 커플러에서 기본 주파수에서의 기능은 유지하면서, 고조파 제거 기능을 제공하기 위하여 각각의 브랜치 라인의 중심에 개방형 스테르브를 추가하고 원하는 특성을 제공하는 설계방법을 제안한다. 브랜치라인 커플러에서 스테르브를 추가하여 부가적인 기능, 예를 들어 이중대역 특성을 제안한 형태는 많이 발표 되었으나, 고조파 제거 기능을 추가한 것은 발표되지 않았다^[2~4].

스테르브를 추가하여 설계 방법을 검증하기 위하여 마이크로스트립 커플러를 FR4 기판위에 구현하였다. 측정 결과는 제안한 구조에 대한 고조파 제거 기능을 확인하였고, 이에 부가적으로 기존의 커플러와 비교하여 제

* 정희원, 경성대학교 전자정보통신공학부
(Department of Electronics, Information and Communication, KyungSung University)

※ 이 논문은 2010년학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2010년2월4일, 수정완료일: 2010년6월10일

안하는 방식이 약 63%의 소형화를 이루어 MMIC 또는 RFIC 회로 구현에 적합한 설계방법이 될 수 있음을 확인하였다.

II. 회로해석

그림 1(a)는 전송선로의 중앙에 개방형 병렬 스테브가 추가된 제안하는 브랜치 라인 커플러를 나타내었는데, 고조파를 제거를 하는데 있어서 가장 기본은 기존의 1/4 파장의 브랜치 라인을 개방형 스테브가 추가된 전송선로로 대체한 후 원하는 특성을 나타내는 파라미터를 구하는 것이다. 그림 1(b)에는 등가 브랜치 라인을 나타내었는데 Z_a, Z_b, θ_a , 및 θ_b 는 각각의 전송선로의 특성 임피던스와 전기적인 길이를 나타낸다. 이들 각각의 회로 요소의 ABCD 행렬을 곱하여 다음의 표현식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_a & jZ_a \sin\theta_a \\ jY_a \sin\theta_a & \cos\theta_a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jY_b \tan\theta_b & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_a & jZ_a \sin\theta_a \\ jY_a \sin\theta_a & \cos\theta_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

위의 행렬의 각 요소는 아래와 같다.

$$A = D = \cos 2\theta_a - b \sin 2\theta_a \quad (1a)$$

$$B = jZ_a (\sin 2\theta_a - b(1 - \cos 2\theta_a)) \quad (1b)$$

$$C = \frac{j}{Z_a} (\sin 2\theta_a + b(1 + \cos 2\theta_a)) \quad (1c)$$

위의 식에서 $b = \frac{Z_a}{2Z_b} \tan\theta_b$ 를 나타낸다.

위의 식(1)은 수식 전개에 단순화를 위하여 병렬 스테브

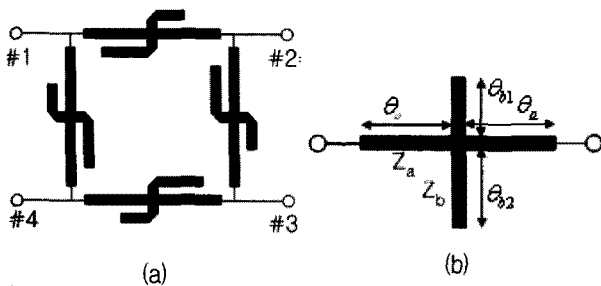


그림 1. (a) 제안하는 브랜치라인 커플러
(b) 등가 브랜치 라인
Fig. 1. (a) The proposed branch-line coupler
(b) The equivalent branch line.

터브가 1개만 부착된 경우인데 그림 1과 같이 동일한 위치에 다수의 스테브가 부착된 경우에는 행렬 요소에 이를 고려하는 것은 간단하다. 즉, 그림 2와 같이 2개가 부착된 경우는 병렬 스테브의 파라미터중 식(1c)의 표현을 $jY_b \tan\theta_b$ 를 $jY_b (\tan\theta_{b1} + \tan\theta_{b2})$ 로 변경하여 수식 유도를 하거나 아니면 최후의 유도한 결과식의 결과식에 치환하는 것이 편리하다.

그림 1(b)의 회로는 기존의 커플러에서 1/4 파장의 전기적 길이를 갖는 브랜치 라인과 동가이므로 다음과 같아야 한다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & jZ_c \\ jY_c & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기에서 Z_c 는 브랜치 라인의 위치에 따라서 Z_0 또는 $Z_0/\sqrt{2}$ 를 나타낸다. $A=D=0$ 의 관계로부터 식 (1a)로부터 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$b = \cot 2\theta_a \quad (3)$$

이를 식(1)의 각 요소에 대입하면 다음과 같은 행렬을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} 0 & jZ_a \tan\theta_a \\ jY_a \cot\theta_a & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & jZ_c \\ jY_c & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

위의 식으로부터

$$Z_a \tan\theta_a = Z_c \quad (5)$$

의 관계를 얻을 수 있다.

식 (3)를 변형하여 다음의 스테브의 특성 임피던스를 얻을 수 있다.

$$Z_b = \frac{Z_a}{2} \tan 2\theta_a \tan\theta_b \quad (6)$$

위의 식 (5)~(6) 으로부터 전송선로 파라미터를 구할 수 있다. 위의 식에서 Z_a, Z_b, θ_a , 및 θ_b 의 4개의 변수가 존재한다. 이 중에서 개방형 스테브의 길이 θ_b 는 차단하는 고조파의 차수(n)에 의하여 그 길이가 다음과 같이 정해진다.

$$\theta_b = \frac{\pi}{2n} \quad (7)$$

나머지 3개의 변수는 식(5)~(6)의 상호 관계식에 의해서 해를 얻을 수 있다. 식(5)에서 $\theta_a = \pi/4$ 인 경우에는

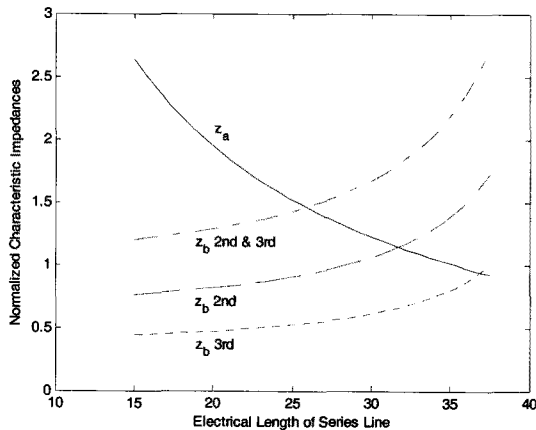


그림 2. 전송로의 전기적 길이에 따른 정규화 특성 임피던스의 변화

Fig. 2. Normalized characteristic impedance versus electrical length of series lines.

$b=0$ 이며 이는 병렬 스테르브가 존재하지 않는 기존의 브랜치 라인 커플러에 해당한다. $\theta_a = \pi/4$ 이하의 다른 전기적 길이에 대해서는 식 (5)으로부터 직렬 전송로의 전기적 길이와 특성 임피던스는 반비례 관계를 갖는다. 즉, 소형화를 위하여 전기적 길이를 줄이면 특성 임피던스가 증가되는 관계를 갖는다. 식 (5)은 직렬 전송로의 상호 반비례 관계만을 나타내며 병렬 스테르브의 특성과는 무관하다. 이는 차단하려는 주파수와 차단 주파수의 수를 결정하는 과정에서 편리한 특성이다. 그림 1과 같은 스테르브가 추가된 구조는 직렬 전송로의 길이는 그림 2에 나타난 바와 같이 감소한다. 이는 Slow-wave 전송선에 해당하여 크기 축소가 가능하게 된다. 이는 브랜치 라인의 전체적인 L과 C는 그 비율은 동일하게 하면서 그 값을 증가하고, 반면에 파장은 감소한다. 마이크로스트립 라인의 인덕턴스와 캐패시턴스는 라인의 선폭에 관련된다. 즉 인덕턴스는 선폭을 감소시키면 늘어난다. 반면에 캐패시턴스는 개방형 스테르브에 의해서 추가된 형태이다. 그림 2에는 직렬 전송선의 길이에 따른 정규화 특성 임피던스의 관계를 나타내었으며 반비례하는 특성이 잘 나타나 있다.

직렬 전송선의 파라미터를 결정한 후에 식(6)에 의하여 개방형 스테르브의 특성 임피던스를 얻을 수 있다. 그림 2에는 여러 가지 제거되는 고조파의 차수에 대한 개방형 스테르브의 특성 임피던스의 변화를 나타내었다.

2차 고조파의 차단에 대한 결과와 3차 고조파 차단에 대한 결과를 나타내었다. 2차 및 3차 고조파를 동시에 제거하기 위해서는 식(1)의 $\tan\theta_b$ 를 $\tan\theta_{b1} + \tan\theta_{b2}$ 로

바꾸고 파라미터 값을 얻었으며 이 결과를 그림 2에 나타내었다. 단일 고조파 제거시보다 2개의 고조파가 동시에 제거되는 경우에 병렬 스테르브의 특성 임피던스가 증가함을 알 수 있다.

III. 실험 및 측정결과

앞장에서 유도한 이론식에 대한 검증을 위하여 그림 3에 1.0 GHz에서 동작하는 커플러를 제작하였는데 이는 2차 (2.0 GHz) 및 3차 (3.0 GHz) 고조파를 동시에 제거하는 기능을 갖는다. 다른 차수의 고조파도 차단 가능하지만 실제 응용에서 2차와 3차 고조파가 제거되는 것이 실제적인 의미를 갖는다. 마이크로스트립형 전송로를 구현하기 위하여 유전율 4.4와 두께 0.8 mm 인 FR4 기판을 이용하였다. $\theta_a = 20^\circ$ 인 경우를 선택하였고 Z_a 와 Z_b 의 값은 식(5)-(6)를 이용하여 구하였다. 커플러의 수직부의 Z_a 및 Z_b 의 값은 137.4 Ω 과 90.9 Ω 를 얻었다. 수평부의 Z_a 및 Z_b 는 여기에 0.707 배인 97.0 Ω 과 64.3 Ω 로 나타났다. 2차 고조파를 제거하기 위한 스테르브는 45° , 3차 고조파를 제거하기 위한 스테르브는 30° 의 전기적 길이를 갖는다. 크기 비교를 위하여 기존의 브랜치 라인 커플러를 함께 나타내었는데 이는 1890 mm²의 면적을 차지하며 제안하는 커플러는 700 mm²을 차지하여 약 63%의 크기 감소를 이루었다. 이는 참고문헌 [5]에서는 단순한 크기 감소만을 위한 설계인데 본 논문의 결과는 고조파 차단 기능과 더불어 소형화를 이루었다는 의미를 갖는다.

그림 4에는 그림 3의 구조의 산란 계수에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과는 모멘트법에 기초한 상용 시뮬레이터인 ADS Momentum을 이용하였다. 그림 4(a)에는 전송 계수(S_{21} , S_{31})을 나타내었는데 1.0 GHz에서는 -3.5 ± 0.5 dB의 삽입손실을



그림 3. 제작된 브랜치 라인 커플러의 모양

Fig. 3. Photograph of the fabricated branch-line couplers.

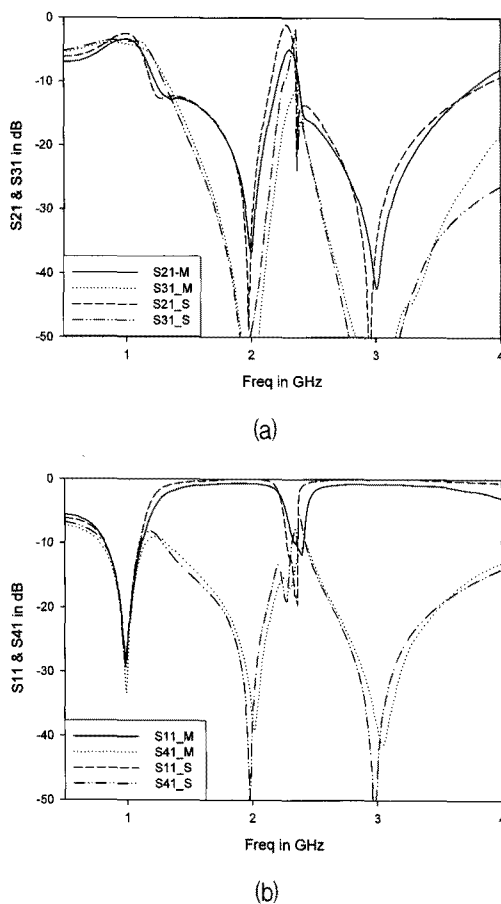


그림 4. 제안한 브랜치 라인 커플러의 측정 및 시뮬레이션에 의한 S-파라미터 특성
Fig. 4. Measured and simulated S-parameters of the proposed branch-line coupler.

갖는 반면에 2.0 GHz와 3.0 GHz 에서는 -37.5 dB와 -42.7 dB의 억압비(Suppression Level)를 나타내었다.

그림 4(b)에는 반사손실(S_{11})과 아이솔레이션(S_{41})을 나타내었는데 1.0 GHz에서 -28.0 dB 인 반면에 2차 및 3차 고조파 주파수에서는 전반사에 가까운 -0.1 dB 레벨의 S_{11} 을 나타내어 이들 주파수는 통과하지 못함을 나타내었다. 아이솔레이션은 설계 주파수와 고조파 모두에서 -30.0 dB 이하를 나타내어 포트 4에 대하여는 제안하는 특성이 완전한 아이솔레이션을 제공하여 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

그림 4에서의 실험 결과는 시뮬레이션에서 얻은 결과와 전체 주파수 범위에서 유사한 결과를 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 브랜치 라인 커플러에서 고조파의 전송을 차단하는 기능을 구현하였다. 기존의 1/4 파장 길이의

브랜치 라인을 개방 스테르브가 부착된 전송선로로 대체하여 네트워크 등가성을 이용하여 파라미터를 구하였다. 실제 구현 예에서는 2차와 3차 고조파를 동시에 제거하는 커플러를 설계하였는데 약 -35 dB 이상의 억압비를 얻었으며, 더불어 63%의 크기 감소를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd ed. New York: Wiley, 1998.
- [2] H. Hualiang and K. J. Chen, "A Stub Tapped Branch-Line Coupler for Dual-Band Operations," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 17, No. 2, pp. 106-108, Feb., 2007.
- [3] W. G. Jeon and Y. S. Cho, "An equalization technique for OFDM and MC-CDMA in a multipath fading channels," in *Proc. of IEEE Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.
- [3] Myun-Joo Park, "Dual-Band, Unequal Length Branch-Line Coupler with Center-Tapped Stubs," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 19, No. 10, pp. 617-619, Oct., 2009.
- [4] K. K. M. Cheng and F. L. Wong, "A Novel Approach to the Design and Implementation of Dual-Band Compact 90° Branch-Line Coupler," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, no. 11, pp. 2458-2463, Nov., 2004.
- [5] Kae-Oh Sun, Sung-Jin Ho, Chih-Chuan Yen, and Daniel van der Weide, "A Compact Branch-Line Coupler Using Discontinuous Microstrip Lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 8, pp. 519-520, Aug., 2005.

저 자 소 개



김 종 성(정회원)

1988년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업

1990년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 졸업.

2001년 포항공과대학교 전자전기공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 초고주파공학, 광가입자망>