한국ITS학회논문지
제6권, 제2호 (2007년 8월)
pp.107~112

스터브를 이용한 소형화된 분기선로 발룬

Stubbed Branch-Line Compact Balun

박면주* 이병제**
(Myun-Joo Park) (Byungje Lee)

요 약

본 논문에서는 스터브(stub) 선로를 이용한 새로운 방식의 분기 선로(branch line) 발룬 구조를 제안한다. 수직 브랜치에 스터브 선로를 부착하여 발룬의 출력 신호에서 불필요한 우모드 출력을 제거하고 180도 위상차를 가지는 출력 신호만 산출되도록 하였다. 또한 스터브 선로를 사용함으로서 해당 브랜치 선로의 길이를 스터브 길이의 2배만큼 줄일 수 있기 때문에 소형화된 발룬 설계에도 유용하게 사용될 수 있다.

Abstract

A new impedance transforming balun scheme is presented based on the branch-line structure with stubs on the vertical branches. The stubbed vertical branch eliminates the unwanted even mode ouput and provides only the balanced output of the balun with opposite phase. Also, the use of stubs reduces the branch lengths by two times the stub length, which is useful for the compact balun design.

Key Words : Balun, branch-line, balanced output, opposite phase, microstrip

Ⅰ. 서 론

발룬(balun)은 하나의 불평형(unbalanced) 입력을 두 개의 평형(balanced) 출력으로 변형시키기 위해 사용되고 있으며, 평형 혼합기 (balanced mixer), 푸쉬풀(push-pull) 증폭기 등과 같은 마이크로파 회로의 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 여러 구조의 발룬들 중에서도 반파장 발룬과 머천드(Marchand) 형 발룬은 일반적으로 널리 알려져 사용되고 있다[1]. 일반적으로 사용되는 반파장 발룬은 180° 지연선로를 사용하여 쉽게 구현할 수 있으나 이 경우 회로의 크기가 다소 커지는 문제를 야기할 수 있다[2]. 머천드형 발룬은 평면형 회로분야에서 1/4파장 결합선로를 사용하여 구현하는 경우가 많으며, 반파장 발룬에 비해 전체적인 구조와 이에 따른 제작상의 복잡도가 증가되는 대신 성능에서는 좀 더 개선된 특성을 나타낸다[3].

본 논문에서는 스터브를 부착한 분기선로 구조를 기반으로 한 새로운 발룬 형태를 제시하고자 한다. 스터브를 부착한 수직 분기선을 이용하여 반파장 지

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수(교신저자)
*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수
논문접수일 : 2007년 5월 2일

연선로나 결합선로를 사용하지 않고서도 발룬에서 요구되는 평형 출력을 얻어낼 수 있다. 이는 스터브의 길이와 임피던스를 적절하게 설계하여 발룬에서 불필요한 우모드(even mode) 신호를 제거함으로써 실현된다. 또한 스터브를 사용함으로써 스터브 길이의 두 배 만큼 분기선로의 길이를 감소시키게 되어 전체적으로 발룬의 크기를 소형화하는 효과를 얻을 수 있다.

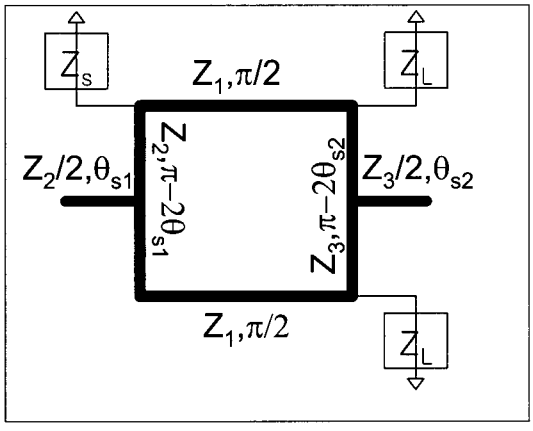
Ⅱ. 구조 및 설계

<그림 1>에 본 논문에서 제안하는 발룬의 구조를 도식적으로 나타내었다. 제안된 발룬에서 수평 분기 선로들은 1/4파장의 길이와 Z_1의 임피던스를 가지고 있다. 각 수직 분기 선로들에는 중앙에 개방 스터브가 부착되어 있다. 이 스터브들의 임피던스는 각자 연결되어 있는 분기선 임피던스의 절반 값을 가지며, 그 길이 θ_{si}(i=1,2)는 설계시에 임의의 값으로 조절할 수 있다.

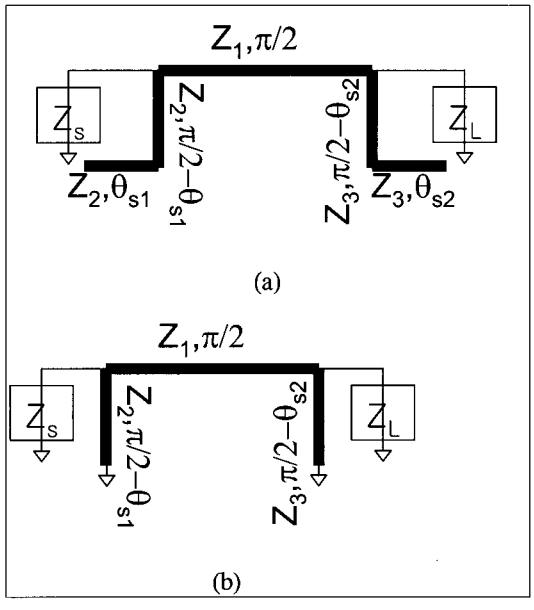
수직 분기 선로의 길이는 스터브의 길이 증가에 비례하여 줄어들게 된다. 기존의 분기 선로 발룬에서는 수직 분기 선로에 스터브 구조가 없이 반파장 선로만을 사용하는데 비해 제안된 구조에서는 스터브를 사용함으로써 수직 분기 선로의 길이와 발룬의 전체 크기를 소형화할 수 있다. 스터브를 도입함으로써 수직 분기선의 길이를 스터브의 두 배만큼 줄여 줄 수 있으며 이는 발룬의 전체 크기를 줄이는데 중요한 역할을 하게 된다. 또한 이 발룬은 개방 스터브를 사용함으로써 비아(via) 등 특수한 공정을 필요로 하지 않기 때문에 저비용 평면회로 기술로 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있다.

제안된 발룬은 한 포트가 개방회로로 되어 있는 대칭적인 4-포트 회로의 특수한 경우로 볼 수 있다. 따라서 우모드-기모드(even mode-odd mode) 분해 방법을 사용하여 분석할 수 있다[1,4]. <그림 2>에 제안된 발룬의 우모드 및 기모드 등가 회로를 나타내었다.

우모드에서는 회로의 대칭면을 따라 등가 자기벽(magnetic wall)이 형성되며 이때 스터브는 중앙선로를 따라 반으로 나누어진다. 이에 따라 스터브의 임피던스는 원래 값의 2배가 되어 연결되어 있는 수직 분기선의 임피던스와 같은 값을 가지게 된다. <그림 2> (a)의 우모드 등가 회로는 수직 분기선과 스터브가 같은 임피던스로 결합되어 등가적으로 1/4 파장 스터브를 형성함을 보여준다. 이와 같이 끝이



<그림 1> 스터브를 가지는 분기선로 발룬
<Fig. 1> Stubbed branch line balun



<그림 2> (a) 우모드 및 (b) 기모드 등가회로
<Fig. 2> (a) even mode and (b) odd mode equivalent circuit

개방된 1/4파장 스터브는 입력에서 단락(short) 회로로 작용하여 우모드 동작시의 투과 계수를 0이 되게 한다. 따라서 발룬의 두 출력단에는 같은 크기와 반대 위상을 가지는 기모드만이 발룬의 평형 출력으로 나타난다.

기모드에서는 회로의 대칭면을 따라 가상 접지(virtual ground) 가 형성되기 때문에 스터브도 단락(short)되어 <그림 2> (b)에 나타낸 것처럼 등가회로에서 완전하게 제거된다. 이 기모드 등가회로에 대한 ABCD파라미터 해석 결과는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j\tan(\theta_{s1})/Z_2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & jZ_1 \\ j/Z_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j\tan(\theta_{s2})/Z_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

주어진 회로가 발룬으로 동작하기 위해서는 기모드 등가회로의 입력 반사계수가 1/3의 값을 가져야 한다[3]. 위의 ABCD 파라미터에 이와 같은 관계식을 적용하면 이는 다음과 같은 조건으로 나타낼 수 있다[4].

$$\frac{A+B-C-D}{A+B+C+D} = \frac{1}{3} \quad (2)$$

식 (1)을 식 (2)에 대입하여 실수부와 허수부에 대한 두 개의 방정식을 풀어 정리하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$Z_2 \cot\theta_{s1} = Z_3 \cot\theta_{s2}/R \quad (3)$$

$$Z_1 = \frac{2Z_3 \cot\theta_{s2}}{\sqrt{2(Z_3 \cot\theta_{s2}/Z_s)^2/R + 2R}} \quad (4)$$

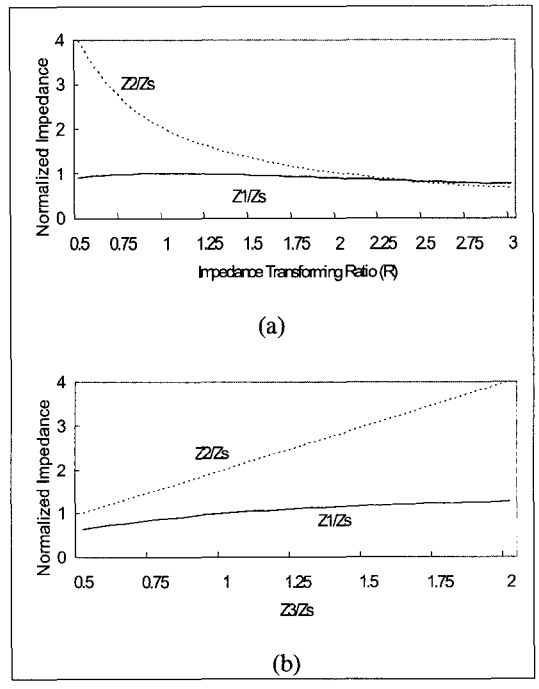
위의 식에서 $R=Z_L/Z_S$은 소스와 부하사이의 임피던스 변환비를 나타낸다. 발룬의 용도에 따라 Z_L과 Z_S가 주어지면 이에 의해 R값이 결정된다. 이 때 스터브의 길이 Θ_{s1}과 Θ_{s2}를 적당한 값으로 선택하면 세 선로 임피던스 Z_1, Z_2, Z_3가 설계 파라미터로 남게 된다. 이들 중의 어느 하나는 설계자가 자유롭게 선택할 수 있으며, 이에 따라 다른 두 개의 임피던스 값을 위의 두 식으로부터 결정할 수 있다.

Ⅲ. 결 과

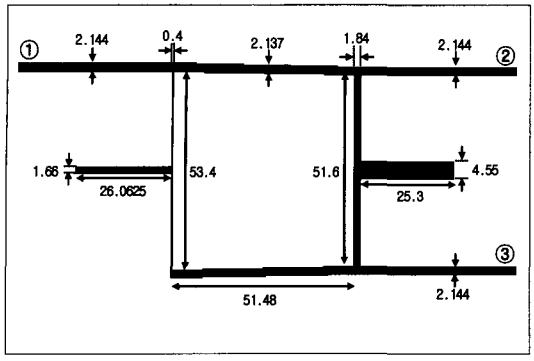
식 (3)과 (4)로부터 제안한 발룬에 대한 몇 개의 대표적인 설계값들을 계산하여 <그림 3>에 나타내었다.

이 그림에 나타낸 데이터는 1/8파장 길이의 스터브($\Theta_{s1}=\Theta_{s2}=\pi/4$)를 가지는 경우에 대한 계산 결과이다. Z_1을 고정한 상태에서 스터브 길이만 변화시킬 경우에는 이 그래프의 값에서 Z_3를 $\tan\Theta_{s2}$, Z_2를 $\tan\Theta_{s1}$만큼 각각 곱해주면 된다. 이와 같은 사실은 결과식을 식 (3)과 (4)에 직접 대입해 봄으로써 쉽게 확인될 수 있다.

<그림 3> (a)는 Z_3가 Z_s로 고정된 상태에서 소스



<그림 3> 계산된 선로 임피던스
(a) Z_1/Z_S, Z_2/Z_S vs. R= $Z_L/Z_S(Z_3/Z_S=1)$
(b) Z_1/Z_S, Z_2/Z_S vs. $Z_3/Z_S(Z_L=Z_S$ (R=1))
<Fig. 3> Calculated line impedances
(a) Z_1/Z_S, Z_2/Z_S vs. R= Z_L/Z_S for $Z_3/Z_S=1$
(b) Z_1/Z_S, Z_2/Z_S vs. Z_3/Z_S for $Z_L=Z_S$(R=1)

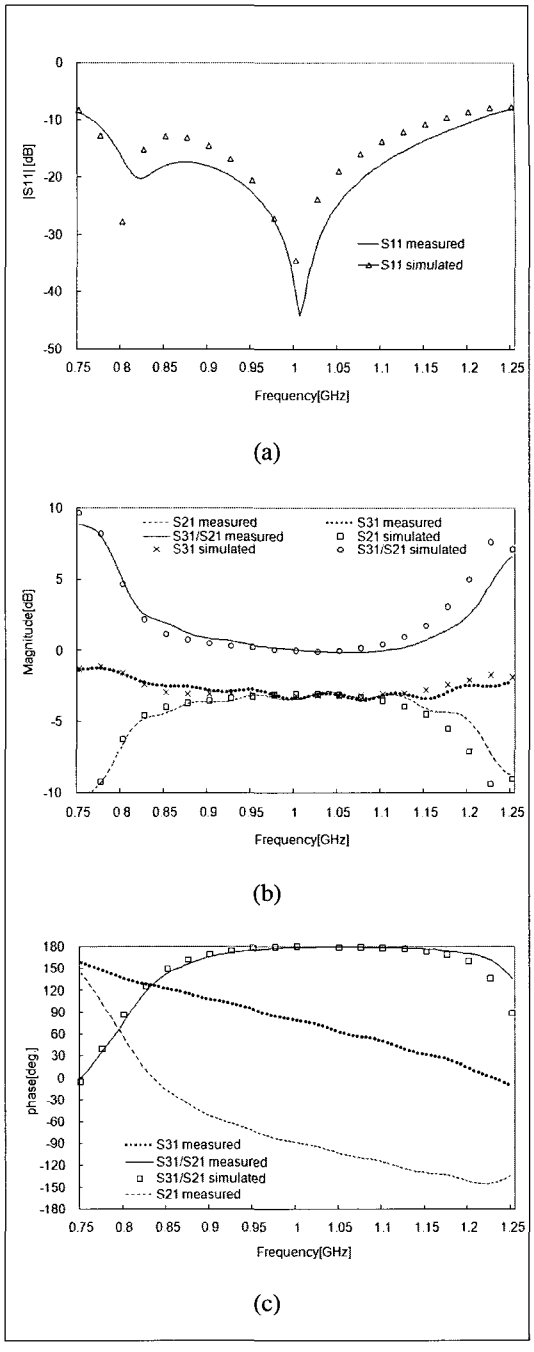


<그림 4> 설계된 발룬 회로 레이아웃(단위:mm)
<Fig. 4> Circuit layout of the designed balun (Units:mm)

임피던스 대 부하 저항의 비 $R(=Z_L/Z_S)$에 따른 분기선 임피던스 Z_1가 Z_2의 변화를 보여준다. 스터브의 길이는 1/8파장이고, 다른 모든 분기선 선로는 1/4파장의 길이를 가진다. 이 임피던스값들은 <그림 3> (b)에서 보여지듯이 Z_3를 다른 값으로 잡아 적당한 크기로 조절할 수 있다. 이 그림은 $Z_L=Z_S(R=1)$로 고정된 상태에서 Z_3의 변화에 따른 다른 선로 임피던스의 변화를 보여준다. Z_3가 증가함에 따라 발룬 구조에 사용된 다른 선로의 임피던스 값들도 증가하므로 증가하므로 이를 조절하여 발룬에 사용되는 선로의 전체적인 임피던스 레벨을 조정할 수 있다.

제안된 구조를 사용하여 프로토타입(prototype) 발룬을 설계, 제작하였다. 이때 부하와 소스 임피던스는 50Ω으로 동일하다(R=1)고 가정하였고, 스터브의 길이는 $\Theta_{s1}=\Theta_{s2}=\pi/4$로 선택하였다. 이로부터 제안된 설계 방법을 이용하여 발룬에 사용되는 각 선로의 임피던스를 $Z_1=54.3\Omega$, $Z_2=120\Omega$, $Z_3=60\Omega$으로 결정하였다. 이와 같이 중심주파수 1GHz에서 설계된 발룬을 두께 0.8mm, 상대 유전율 2.5인 테플론 기판 위에 마이크로스트립 선로를 사용하여 제작하였다. 이때의 상세한 회로 레이아웃을 <그림 4>에 나타내었다.

이와 같은 설계 과정을 거쳐 제작된 발룬의 동작 특성을 <그림 5>에 나타내었다. 그림에서 선으로 나타낸 것은 실제 측정결과이며 점들로 표현된 것은 상용 수치해석 소프트웨어인 IE3D를 이용한 레이아



<그림 5> 제작된 발룬의 동작 특성
(a) 입력 정합(|S11|) (b) 투과 특성
(c) 출력 위상 특성
<Fig. 5> Operational characteristics of the designed balun (a) Input match(|S11|)
(b) Transmission characteristic
(c) Output phase characteristic

웃 시뮬레이션에 의한 계산값이다[5]. 그림에서 볼 수 있듯이 두 결과가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. <그림 5> (a)는 입력정합으로서 중심 주파수인 1GHz에서 40dB이상 765MHz~1205MHz 대역에서 10dB이상의 매우 양호한 반사손실 특성을 보여주고 있다. 입출력이 동시에 정합될 수 없는 무손실 3단자망의 특성상 출력 측의 반사손실은 약 6.1dB 수준으로 비교적 높게 나타난다. <그림 5> (b)는 투과 특성으로서 중심 주파수 근처에서 이상적인 발룬에서 요구되는 3dB 내외의 삽입손실값을 나타낸다. 중심주파수 1GHz에서 |S21|=-3.42dB, |S31|=-3.37dB로서 두 출력 신호 간 크기 차이는 0.05dB로 나타난다. 또한 발룬의 두 출력 크기 오차가 0.15dB 이하로 유지되는 대역폭은 대략 140MHz정도이다. 그림 5(c)에 나타낸 위상 특성을 보면 중심주파수 1GHz 근처에서 S21과 S31 신호간 위상차가 180° 근처로 유지되는 전형적인 발룬 특성을 보여준다. 두 출력 사이의 위상차는 중심주파수에서 거의 정확하게 180°가 되며 최고와 최저의 편차값이 5°이하로 유지되는 대역폭은 230MHz정도이다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 개방 스터브를 이용한 새로운 형태의 임피던스 변환형 분기선로 발룬 구조를 제안하였다. 수직 분기 선로의 중앙에 적절한 크기의 스터브 선로를 부착함으로써 우모드 신호요소를 제거하고 기모드 신호만을 출력에 전달함으로써 이상적인 발룬 구조로 동작할 수 있음을 보였다. 이와 같은 스터브를 발룬에 도입함으로써 기존의 반파장 분기선로 발룬에 비해 보다 소형화된 발룬을 구현할 수 있었다. 또한 제안된 구조에서는 끝이 개방된 스터브 구조만을 사용하게 되어 있으므로 제작시 비아 등 복잡한 공정이 필요하지 않고 전체적인 구조도 비교적 단순하여 저가의 평면회로 기술로도 간단하게 대량으로 제작할 수 있는 장점을 가진다. 제안된 발룬 구조는 이와 같은 여러 가지 장점으로 인해 각종 마이크로파 회로 응용에서 광범위하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] R. Mongia, I. Bahl, and P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled Line Circuits*, Artech House, 1999.

[2] R. Sturdivant, "Balun Designs for Wireless, Mixers, Amplifiers and Antennas," *Applied Microwave*, pp. 34-44, 1993.

[3] K. S. Ang, Y. C. Leong, and C. H. Lee, "Analysis and design of miniaturized lumped-distributed impedance transforming baluns," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 3, pp.1009-1017, Mar. 2003.

[4] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.

[5] IE3D, Zealand Software Inc.

저자소개

박 면 주 (Park, Myun-Joo)
1991년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 공학사
1993년 2월 : 서울대학교 대학원 공학석사
1998년 11월~2002년 8월 : 삼성전자(주) 책임연구원
1998년 2월 : 서울대학교 대학원 공학박사
2002년 9월~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수

이 병 제 (Lee, Byungje)
1991년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 공학사
1993년 12월 : 미국 Southern Illinois 전자공학과 공학석사
1997년 2월 : 미국 Southern Illinois 전자공학과 공학박사
1997년 5월~1998년 2월 : 삼성전자 정보통신 연구소 선임연구원
1998년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수