

평면형 초소형 발룬 및 평형 필터 설계

구본산, 이문규  
 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Design of Planar Miniaturized Balun and Balanced-type Filter

Bonsan Koo, Moon-Que Lee  
 Dep. of Electrical and Computer Engineering

**Abstract** - 본 논문에서는 짧은 결합 길이를 갖는 평면형 초소형 발룬 및 평형 필터를 설계한다. 구조상 물리적인 접지를 사용하지 않기 때문에, 설계한 평형 필터의 잡음을 최소화할 수 있다. 설계한 발룬은 0.05dB의 크기 평형성과 0.7°의 위상 평형성을 갖는다. 평형 필터의 측정 결과, 500MHz의 중심 주파수를 기준으로 10%의 대역폭을 가지며, 반사 손실 7dB, 삽입 손실 8dB의 특성을 보인다. 또한 통과 대역에서 크기 평형성이 0.2dB, 위상 평형성이 1.2°의 평형성을 갖는다. 설계한 발룬과 평형 필터는 MMIC나 LTCC공정을 이용하여 구현가능하고, 그럴 경우 손실을 더 줄일 수 있고, 잡음 성능을 개선시킬 수 있다.

1. 서론

최근 휴대폰 등 휴대용 무선 기기가 일반화됨에 따라 기기의 소형화와 성능 개선의 요구가 커지고 있다. 일반적으로 RF 앞단에서 이중 평형 믹서(double balanced mixer)나 평형 증폭기(balanced amplifier), 평형 필터(balanced-type filter)와 같은 평형 구조를 갖는 회로를 사용하면 공통 모드 잡음(common mode noise)을 줄일 수 있고, 동작 전압을 낮게 할 수 있는 장점이 있다. 평형 필터는 이론적으로 물리적인 접지를 사용하지 않기 때문에, 회로의 Q 값을 높일 수 있고 따라서 회로의 잡음 성능을 향상시킬 수 있다. 지금까지는 주로 IDT (Interdigital Transducer)형 SAW 필터나 공진형 SAW 필터를 사용하여 평형 필터를 설계한 것이 보고되었다[1]-[4]. 이러한 SAW 필터는 불평형(unbalanced) 입력력을 갖기 때문에 평형 구조를 갖는 회로와 연결하기 위해서는 발룬(balun)과 같은 평형-불평형 변환기를 이용하여 신호를 인가해 주어야한다. 또한, 필터의 크기 평형성이나 위상 평형성을 높이기 위해서는 여러 개의 IDT를 연결하여 사용해야하기 때문에, 회로의 크기가 커질 수 있는 문제가 있다.

본 논문에서는  $\lambda/72$ 의 결합 길이를 갖는 소형 발룬을 설계하고 이를 바탕으로 평형 필터를 설계 및 제작하였다. 일반적으로 많이 사용되는 수동형 발룬 구조에는  $\lambda/4$  결합 길이를 갖는 머천드(Marchand) 발룬과 결합 선로와 커패시터를 같이 사용함으로써 결합 길이를 효과적으로 줄일 수 있는 집중 정수-분산형(lumped-distributed) 발룬이 있다. 머천드 발룬은 넓은 대역폭을 갖는 장점이 있으나, 두 개의  $\lambda/4$  결합 길이를 갖는 결합 선로를 필요로 하기 때문에 회로의 크기가 커지는 단점이 있다. 집중 정수-분산형 발룬은 커패시터를 이용하여 결합 선로의 길이를 줄일 수 있으나, 대역폭이 좁아지고 평형성이 떨어지는 단점이 있다. 최근에 약  $\lambda/24$ 의 결합 길이를 가지면서, 좋은 평형성을 갖는 집중 정수-분산형 발룬이 연구 분석되었다[5]. 본 논문에서는 이를 응용하여 결합 길이를  $\lambda/72$ 로 줄임으로써 회로의 크기를 소형화하였고, 500 MHz의 중심 주파수를 기준으로 약 10%의 대역폭을 확보하면서도 좋은 평형성을 갖는 발룬을 설계하였다. 차후에는

MMIC나 LTCC 공정을 이용하여 설계함으로써, 더 좋은 성능을 갖는 발룬 및 필터를 제작할 수 있을 것이라 예상된다.

2. 본론

2.1 발룬 설계

본 논문에서 설계한 발룬은 일반적인 4포트 회로에서 하나의 포트가 단락된 형태로, 대칭적인 구조를 갖는 3포트 회로이다. 널리 알려진  $\lambda/4$ 의 결합 길이를 갖는 머천드 발룬과는 달리, 2개의 커패시터를 사용하여 결합 선로의 결합 길이를  $\lambda/72$ 로 줄임으로써 소형화를 꾀하였다. 보통 커패시터를 많이 사용할수록, 또 큰 값을 쓸수록 결합 길이를 효과적으로 줄일 수 있으나, 대역폭은 좁아지게 된다. 입력에 인가된 불평형 신호는 두 개의 정 반대 위상을 갖는 평형 신호가 되어 출력된다. 일반적인 3포트 발룬 회로에서 발룬의 특성을 정의하는 두 가지 조건은 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{11} = 0 \tag{1}$$

$$S_{21} = -S_{31} \tag{2}$$

식 (1)은 발룬의 임피던스 변환기로서의 특성을 나타낸 것이다. 일반적으로 발룬의 소스 임피던스와 로드 임피던스는 다르기 때문에, 임출력 간에 임피던스 정합을 위해 임피던스 변환기로서의 역할을 수행해야 한다. 식 (2)는 평형 조건을 나타낸 것으로, 두 개의 출력은 크기가 서로 같고 위상이 정 반대이어야 함을 의미한다. 이를 포함한 자세한 내용과 발룬의 even/odd 분석에 대한 해설이 K. S. Ang등에 의해 보고되었다[5][6]. 그림 1은 설계하고자 하는 발룬의 구조를 나타낸다. 이 구조를 바탕으로 설계한 발룬을 Agilent사의 ADS를 이용하여 시뮬레이션한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 시뮬레이션 결과, 500 MHz의 중심 주파수를 기준으로 10%의 대역에서 삽입 손실이 약 3.5 dB, 반사 손실이 약 11 dB이고, 크기 평형성은 0.015 dB, 위상 평형성은 0.1°의 특성을 보인다.

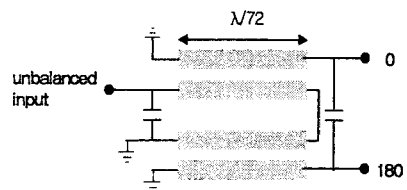


그림 1.  $\lambda/72$  결합 길이를 갖는 발룬 구조

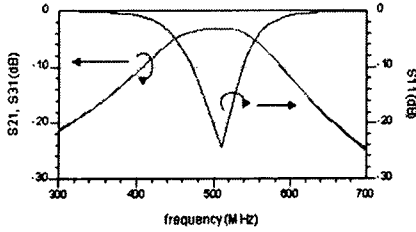


그림 2. 발룬의 시뮬레이션 특성

## 2.2 평형 필터 설계

설계한 발룬을 바탕으로 평형 필터를 설계하였다. 그림 3은 평형 필터의 구조를 나타낸다.

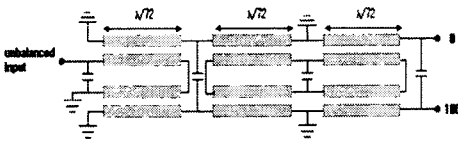


그림 3. 평형 필터의 구조

그림 4는 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로, 통과 대역에서 삽입 손실이 4.5 dB, 반사 손실이 10 dB이고, 크기 평형성은 0.004 dB, 위상 평형성은 0.02°의 특성을 보인다.

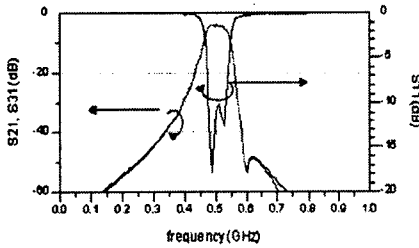


그림 4. 평형 필터 시뮬레이션 특성

## 2.3 제작 및 측정 결과

설계한  $\lambda/2$ 의 결합 길이를 갖는 소형 발룬과 평형 필터를 유전율 2.6, 두께 0.54 mm, 탄젠트 손실 0.002인 테플론 기판에 제작하였고, HP 8753D 네트워크 분석기를 이용하여 3포트에 대해 산란 계수를 측정하였다. 먼저, 그림 5는 주파수에 대한 발룬의 삽입 손실과 반사 손실을 나타낸 것으로, 통과 대역에서 각각 5 dB, 10 dB이다. 그림 6은 발룬의 평형성을 나타낸 것으로, 크기 평형성은 0.05 dB, 위상 평형성은 0.7°의 특성을 보인다.

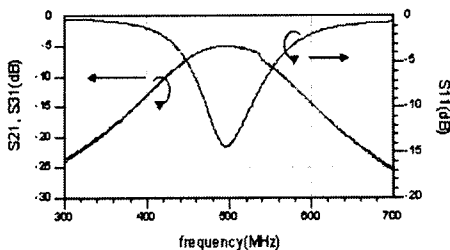


그림 5. 측정된 발룬의 주파수 특성

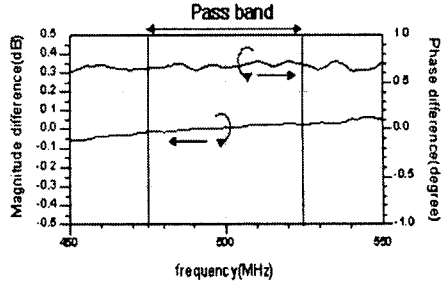


그림 6. 측정된 발룬의 평형성

평형 필터의 주파수에 대한 삽입 손실 및 반사 손실을 그림 7에 나타내었다. 통과 대역에서 삽입 손실은 8 dB, 반사 손실은 7 dB이다. 그림 8은 평형 필터의 평형성을 나타낸 것으로, 크기 평형성은 0.2 dB, 위상 평형성은 1.2°의 결과를 얻었다.

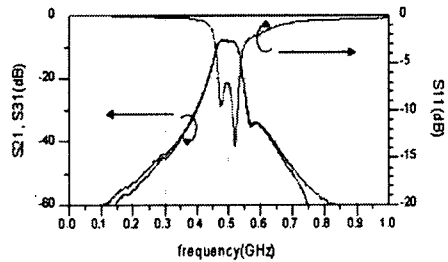


그림 7. 측정된 평형 필터의 주파수 특성

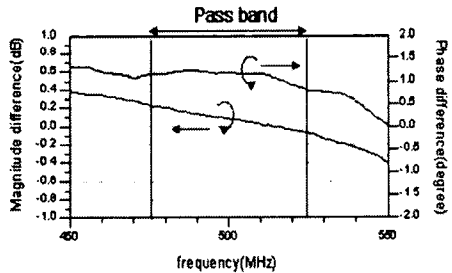


그림 8. 측정된 평형 필터의 평형성

그림 9는 제작한 발룬과 평형 필터의 사진이다.



그림 9. 제작한 발룬 및 평형 필터

## 3. 결 론

본 논문에서는  $\lambda/2$ 의 결합 길이를 갖는 소형 발룬과 평형 필터를 설계 및 제작하였다. 평형 필터는 물리적인 접지를 사용하지 않기 때문에 회로의 Q 값이 높은 장점을 갖는다. 발룬의 측정 결과 크기 평형성은 0.05 dB,

위상 평형성은 0.7°의 특성을 얻었다. 기존의 머천드 발룬은  $\lambda/4$ 의 결합 길이로 인한 크기의 제약 때문에 MMIC나 LTCC로의 구현이 어려웠으나, 결합 길이를  $\lambda/72$ 로 작게 하면 MMIC나 LTCC 공정을 이용하여 제작이 가능하며, 보다 작은 손실을 가지면서 뛰어난 성능을 갖는 발룬을 설계할 수 있으리라 여겨지고, 현재 이런 방향으로 많은 연구가 진행되고 있다. 평형 필터는 측정 결과, 500 MHz의 중심 주파수를 기준으로 10%의 통과 대역에서 삽입 손실이 8 dB, 반사 손실이 7 dB, 크기 평형성은 0.2 dB, 위상 평형성은 1.2°의 특성을 갖는다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] H. Nakamura, S. Tsuzuki, T. Yamada, T. Ishizaki, "An analysis and improvement of balanced type SAW filters", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 163-166, 2002
- [2] M. Koshino, K. Kanasaki, N. Akahori, M. Kawase, R. Chujyo, Y. Ebata, "A Wide band Balanced SAW Filter with Longitudinal Multi mode Resonator", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 387-390, 2000
- [3] T. Yamada, H. Nakamura, K. Nishimura, "Balanced type IF SAW Filters with Different Input/Output Impedances", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 77-80, 1998
- [4] Y. Taguchi, S. Seki, K. Onishi, K. Eda, "A New Balanced-Unbalanced Type RF Band SAW Filter", IEEE MTT-S Digest, pp. 417-420, 1996
- [5] K. S. Ang, Y. C. Leong, C. H. Lee, "Analysis and Design of Miniaturized Lumped Distributed Impedance Transforming Baluns", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, No. 3, March 2003, pp. 1009-1017
- [6] Y. C. Leong, K. S. Ang, C. H. Lee, "A Derivation of a Class of 3 port Baluns from Symmetrical 4 port Networks", IEEE MTT S Digest, pp. 1165-1168, 2002