

진폭과 위상 특성을 개선한 링 하이브리드 결합기를 사용한 광 대역 주파수 2체배기 회로

A Resistive Frequency Doubler with High Fundamental Suppression using Broad-Band Ring Hybrid Balun

나 원 , 조 익 군

이 문 규

(서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정) (서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수)

Key Words : Wideband balun, ring hybrid, frequency doubler

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 광대역 링 하이브리드 발룬 설계</p> <p> 1. $1/4\lambda$ 스테르브를 사용한 위상보정회로</p> <p> 2. $1/4\lambda$ 스테르브를 사용한 진폭보정 및 링 하이브리드 발룬 설계</p> | <p>III. 광대역 평형 주파수 2 체배기</p> <p>IV. 제작 및 측정결과</p> <p>V. 결론</p> |
|---|--|

I. 서론

링 하이브리드 결합기는 평형 주파수 혼합기회로, 위상 천이기, 안테나 급전회로 등에 사용되는 기본적인 마이크로웨이브 소자이다. 그러나 위상 및 진폭 평형특성 측면에서는 중심 주파수에서만 같은 출력진폭과 180도 위상 차이를 갖기 때문에 발룬의 용도로 쓰기 위해서는 이 협 대역 특성을 개선해야 한다. 실제 이 협 대역 특성을 개선하기 위한 여러 방법이 이전부터 제시되어 왔다. [1][2]

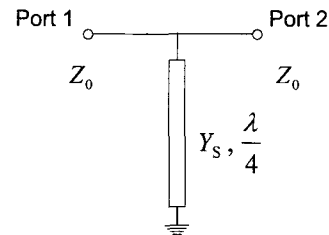
본 논문에서는 기존 링 하이브리드의 위상 및 진폭특성을 $1/\lambda$ 스테르브를 사용하여 개선한 새로운 링 하이브리드 발룬 구조를 제시하고, 이를 이용한 주파수 체배기 회로를 제작하여 그 성능을 검증하였다.

II. 광대역 링 하이브리드 발룬 설계

1. $1/4\lambda$ 스테르브를 사용한 위상보정회로

기존의 링 하이브리드 구조는 각 출력으로 $1/4\lambda$ 전송선로와 $3/4\lambda$ 전송선로가 각각 이어져 있다. 즉 이 $1/2\lambda$ 의 길이차이에 의하여 중심주파수 이외의 대역에서는 출력의 위상 및 진폭 특성이 나빠지게 된다.

본 논문에서는 이를 보상하기 위하여 그림1과 같은 위상 보정 회로를 제안하였다.



<그림 1> $1/4\lambda$ 단락 스테르브를 사용한 위상 보정 회로

위의 회로는 중심 주파수에서는 $1/4\lambda$ 스테르브가 개방된 것으로 보여 영향을 미치지 않지만, 이외의 주파수대역에서는 단자1과 단자2간에 위상 차이를 보이게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다. 먼저 단자 1과 2사이의 S-파라미터를 구해보면 다음과 같다.

$$S(2,1) = \frac{2Y_o}{2Y_o + jY_s \cot(f_n \times 90^\circ)}$$

여기서 f_n 은 중심주파수로 정규화된 주파수이다. 다음으로 위 식의 위상을 구하면 다음과 같다.

$$\angle S(2,1) \cong \tan^{-1} \left[-\frac{Y_s}{2Y_o} \cot(f_n \times 90^\circ) \right] \cong -\frac{Y_s}{2Y_o} \cot(f_n \times 90^\circ)$$

다시 위상의 변화율을 구하면

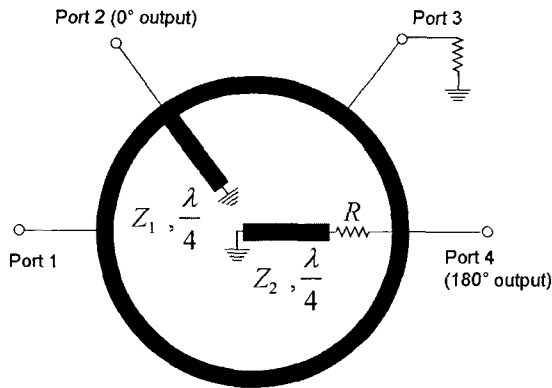
$$\frac{d\angle S(2,1)}{df} \cong \frac{Y_s}{2Y_o} \times \frac{90^\circ}{f_{center}}$$

과 같이 표현된다. 즉 위 수식은 위상의 변화율은 $1/4\lambda$ 스테르브의 특성 임피던스에 의해 정해짐을 보여준다.

즉 적절한 값의 $1/4\lambda$ 스테르브를 링 하이브리드 출력에 부착하면 중심주파수 근처에서 위상의 변화율을 0로 만들 수 있다. 실제 링 하이브리드 회로의 위상변화율을 구해보면 $0.0318^\circ/\text{MHz}$ 로 계산되며 결과적으로 특성 임피던스의 값은 35.38Ω 으로 결정된다. [3]

2. $1/4\lambda$ 스테르브를 사용한 진폭 보정 및 링 하이브리드 발룬 설계

앞장에서는 기존 링 하이브리드의 위상 특성을 개선하기 위해 출력에 $1/4\lambda$ 스테르브를 부착하였다. 그러나 $1/4\lambda$ 스테르브를 부착함으로써 진폭 특성은 다소 악화된다. 결국 진폭 보상을 하기 위하여 본 논문에서는 회로의 나머지 단자에 추가적인 $1/4\lambda$ 스테르브를 직렬저항을 통해 부착하였다. 그림 2는 추가적인 진폭보정회로가 부착된 제안한 링 하이브리드 발룬의 모식도를 보여주고 있다.



<그림 2> 진폭보정회로를 포함한 링 하이브리드 발룬

이때 단자 4에 부착한 진폭 보정 스테르브는 저항성분과 리액턴스 성분을 동시에 가지게 된다. 즉 추가적인 위상의 변화가 생기므로 앞장에서 계산한 방법으로는 설계변수를 정할 수 없다. 즉 최종적인 설계 변수는 스테르브의 특성임피던스 Z_1, Z_2 와 직렬저항 R 의 3가지로 수식을 통해 풀 수 없으므로 최적화 과정을 통하여 설계하여야 한다.

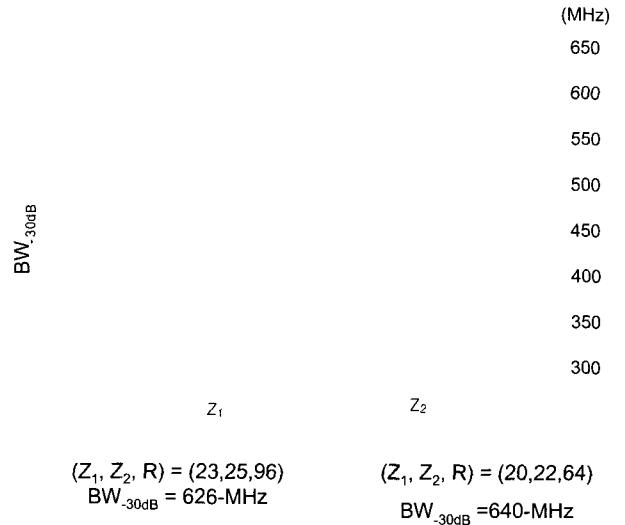
설계 목표인 광대역 발룬 회로를 제작하기 위해, 본 논문에서는 주파수 체배기의 특성중 하나인 기본주파수 제거율이 30dB 이하인 대역폭을 기준으로 하고, 이를 최대한 하도록 설계하였다. 이때 기본주파수 제거율은 다음과 같은 수식으로 정의 된다.

$$I = -10 \log \left(\frac{1 - 2\sqrt{G} \cos \phi + G}{1 + 2\sqrt{G} \cos \phi + G} \right)$$

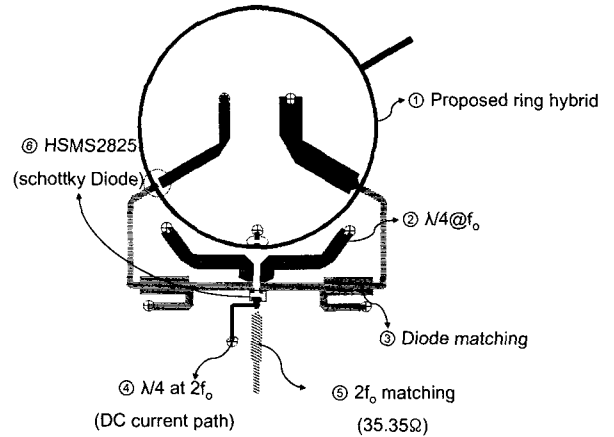
G 는 진폭 밸런스이며 ϕ 는 180도를 기준으로 한 위상의 차이를 나타낸다.

최적화 과정은 다음과 같다. 먼저 스테르브의 특성 임피던스 Z_1 과 Z_2 를 사용하고자 하는 범위 내에서 선택한

다. 이후 (Z_1, Z_2)의 각 점에 대해 R 값을 최대 대역폭을 갖도록 수치해석을 통하여 결정한다. 다음 그림은 최적화 결과를 3차원 그래프를 통해 보여주고 있다. 그림 3은 (Z_1, Z_2) 점에 대해 결정된 최대 대역폭을 그린 그래프이다.



<그림 3> 스테르브의 특성임피던스 Z_1, Z_2 에 대한 최적화된 대역폭



<그림 4> 광대역 주파수 2체배기

III. 광대역 평형 주파수 2 체배기

그림 4는 제안한 링 하이브리드 발룬을 사용한 광대역 주파수 체배기 회로의 실제 레이아웃을 나타낸 그림이다. 제안한 주파수 체배기 회로는 제안된 링 하이브리드 발룬 회로와 두 개의 Schottky 다이오드, 기본주파수에서 구성된 다이오드 매칭회로, 2차 하모닉 주파수에서 구성된 출력 매칭회로로 구성된다.

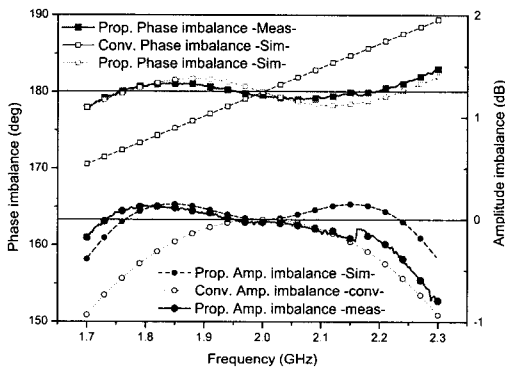
평형 주파수 2 체배기 회로는 발룬의 특성으로 인하여 2개의 다이오드 사이가 가상적인 그라운드가 된다. 즉, 기본 주파수의 제거율의 수식에서 보이듯이 발룬 회로의 진폭 밸런스와 위상 밸런스가 기본 주파수 제거율을 결정한다.

IV. 제작 및 측정결과

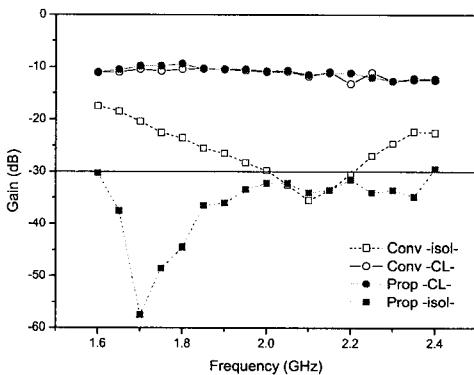
기존의 링 하이브리드와 이를 이용한 주파수 2체배기 회로 및 제안한 구조의 링 하이브리드 발룬과 주파수 체배기 회로를 테플론 0.5mm 두께의 기판을 사용하여 제작하였다.

먼저 링 하이브리드 결합기의 위상 및 진폭 특성을 Advantest R3767CH 네트워크 분석기를 사용하여 측정하였다. 그림 4는 그 결과의 그래프이다.

다음으로 주파수 체배기를 측정하기 위해 Hewlett-packard 8341B synthesized sweeper를 입력 신호로 하고 기본 주파수 및 하모닉 주파수를 Advantest R3272 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정하였다. 그림 5는 주파수 체배기의 변환 손실 및 기본주파수 제거율을 나타낸 그래프이다.



<그림 5> 기존의 링 하이브리드 및 링 하이브리드 발룬의 진폭 및 위상 밸런스



<그림 6> 주파수 2체배기의 변환손실 및 기본주파수 제거율

V. 결론

기존 링하이브리드의 위상 및 진폭 특성을 $1/4\lambda$ 스테터브를 사용하여 개선한 새로운 구조를 제안하였다. 모의 실험결과 제안한 구조는 2GHz 중심주파수에서 600MHz 이상의 대역폭을 가지며 이는 기존 구조에 비해 3.79배 이상 향상된 것이다. 제안한 구조를 사용하여 주파수 2체배기 회로를 제작한 결과 1.6-2.35GHz 대역에서 30dB 이상의 기본 주파수 제거율을 보였다. 기존 링 하이브리드를 사용한 구조와 비교하면 5배 향상된 결과이다.

참고문헌

1. Chun-Hsiang Chi and Chi-Yang Chang. "A new class of wideband multisection 180° hybrid rings using vertically installed planar couplers," IEEE MTT-S Int. Microwave. Symp. Dig, Vol. 54, No. 6, June 2006.
2. Hiroshi Okabe, Christophe Caloz, Tausuo Itoh. "A compact enhanced-bandwidth hybrid ring using an artificial lumped-element left-handed transmission-line section," IEEE MTT-S Int. Microwave. Symp. Dig, Vol. 52, No. 3, March 2004.
3. Won Na, Jun Song, Il-Hyun Cho, Keun-Kwan Ryu and Moon-Que Lee "Ring hybrid balun with Good amplitude and phase balance," 2007 IEEE International Microwave Symposium Digest, pp.1769-1772.
4. Stephen A. Maas, The RF and Microwave Circuit Design Cookbook, ARTECH HOUSE, INC., 1998.