

## Wilkinson Divider구조를 이용한 FG-CPW 발룬

임형선\*, 유종원\*, 이문규\*\*

한국과학기술원 전자전산학과\*, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부\*\*

전화 : 042-869-8078 / 팩스 : 042-869-5478

### FG-CPW Baluns using wilkinson divider structure

Hyung-Sun Lim\*, Jong-Won Yu\*, Moon-Que Lee\*\*

Department of EECS, KAIST\*, Department of ECE, University of Seoul\*\*

E-mail : hslim79@kaist.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we design FG-CPW (Finite Ground Coplanar Waveguide) baluns using Wilkinson divider structure. FG-CPW easily provides crossing the signal and ground line. So we propose the broadband FG-CPW baluns by inserting phase inverter into Wilkinson divider. The balun implemented on FR4 substrate( $\epsilon_r$ : 4.8 height:1.2t). The measured results show about 88% fractional bandwidth in center frequency with return loss of 10dB and insertion loss of 4dB. Also it shows magnitude balance of 0.2dB and phase balance of 5degree in usability band. Designed balun can be implemented using RFIC fabrication to good performance.

#### 1. 서론

평형 믹서, 평형 증폭기, 평형 필터와 같은 평형구조를 갖는 회로는 공통모드 잡음을 줄일 수 있는 장점이 있어 RF시스템에 많이 이용된다[1]. 이러한 평형구조 회로의 입력에 평형신호를 입력해 주는 소자가 발룬이다. 발룬이란 마이크로스트립라인이나 동축 선로, CPW와 같은 불평형 입력을 평형 출력으로 또는 그 역으로 변환해 주는 RF소자이다. 즉 신호와 접지가 분리된 불평형 신호를 크기가 같고 위상차가 180도를 갖는 평형신호로 변환해주는 소자이다.

Wilkinson 구조를 이용한 기존의 발룬 연구는 Wilkinson divider와 Lange coupler의 결합[2]을 이용한 경우와  $\lambda/4$  section을 LC동가회로를 이용해 구현한 경우[3], 두 출력포

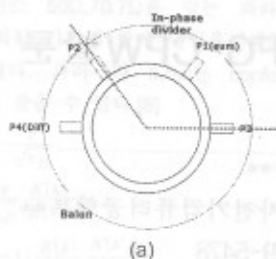
트사이에  $\lambda/2$ 의 라인을 삽입한 경우[4]로 나눌 수 있다. 그러나 기존의 연구는 회로 사이즈가 크며 협대역인 단점을 가진다.

본 논문에서는 ring hybrid의 balun section이 Wilkinson divider의 isolation저항과 동가임을 이용해 제안한 구조가 ring hybrid로부터 도출됨을 보이고 [4-6], 신호라인과 접지라인이 동일평면에 있으므로 단락회로구현에 용이하고 낮은 dispersion 특성과 직접화가 용이한 FG-CPW에서 phase inverter를 이용하여  $\lambda/2$  section을 대체한 연구[7]를 이용해 회로 사이즈가 더욱 작아지고 광대역의 Wilkinson balun을 설계하였다. 기판은 FR4 (비유전율:4.8, 기판 두께:1.2t)를 이용하였고, phase inverter를 두 군데 삽입한 구조와 50옴 포트라인 한군데에 삽입한 구조를 설계 및 측정하여 그 특성을 비교하였다.

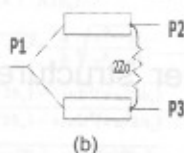
#### 2. Wilkinson 구조를 갖는 발룬 설계

##### 2.1 Ring Hybrid를 Wilkinson divider로의 변환

그림1(a)은 기본적인 ring hybrid를 In-phase divider와 balun부분으로 나누어 그 특성을 보여주는 그림이다[5]. Ring Hybrid를 발룬으로 적용하기 위해선 포트1을 50 $\Omega$ 으로 종단시키고 포트4를 입력으로 하면 된다. 그림1(b)는 기본적인 Wilkinson divider이다.



(a)



(b)

그림1. (a)Ring Hybrid (b)Wilkinson divider

그림2와 같이 ring hybrid의 발문부분이 Wilkinson divider의 isolation resistor인  $2Z_0$ 와 같은 역할은 간단한 우/기모드 분석을 통해 알 수 있고 또한 기 발표된 논문에서[6] 확인할 수 있다. 즉 각각의 ABCD행렬을 구해보면 각각의 경우가 아래 행렬과 같아 두 회로는 동가임을 알 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2Z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

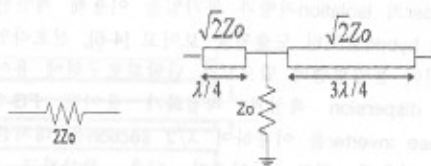


그림2. Isolation resistor의 동가회로

위의 해석결과로 ring hybrid의 발문 부분을  $2Z_0$ 의 저항으로 대체하면 두 회로는 정해진 주파수에서 같은 특성을 보인다. 그러나 저항소자의 주파수의존성이 전송선로에 비해 작으므로 대역폭은 Wilkinson이 더 넓다.

## 2.2 FG-CPW구조를 이용한 발문 설계

### 2.2.1 Wilkinson 구조를 갖는 발문

2.1절을 바탕으로 Wilkinson divider를 발문으로 적용하기 위해선 그림3과 같이 라인의 길이를 조절하면 된다. 이는 그림1(a)의 ring hybrid의 포트4를 입력으로 하고 In-phase divider부분을  $2Z_0$ 의 저항으로 변환하기 위해  $\lambda/2$ 라인을 한쪽의 두 포트 (포트1과2, 또는 포트1과3) 사이에 삽입함과 같다[4]. 그림3의 포트 번호는 그림1의 ring hybrid를 따른다.

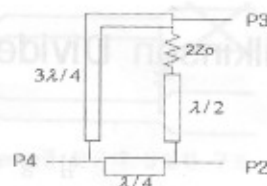


그림3. 수정된 Ring Hybrid 발문

### 2.2.2 FG-CPW구조를 갖는 Wilkinson 발문 설계

그림3의 수정된 Ring Hybrid발문은  $3\lambda/4$ 와  $\lambda/2$ 의 라인의 추가로 회로 사이즈가 커지고 전송선로의 주파수의존성 때문에 발문의 대역폭 또한 넓지가 못하다. 이러한 이유로 180도의 전기적 길이를 갖는 전송선로를 대체하는 연구가 많이 이루어졌다. 본 논문에서는 Finite Ground Coplanar Waveguide 구조에서 갖는 장점을 살려 signal 라인과 ground line을 서로 교차시켜 180도의 phase inverter를 구현하였다[7]. 이러한 구조를 적용함으로써  $3\lambda/4$ 의 긴 라인을  $\lambda/4$ 의 짧은 라인과 phase inverter로 구현하고 포트2와 저항사이의  $\lambda/2$  라인 또한 phase inverter로 대체할 수 있다. 그림4는 최종적으로 제안한 Wilkinson 구조를 갖는 FG-CPW 발문이다. 실제 레이아웃은 다음 절에서 보이기로 하고 그림4에서는 도식화된 그림을 보여준다. 여기서 X 표시는 FG-CPW의 Signal라인과 Ground라인을 교차시킨 Phase inverter를 나타낸다.

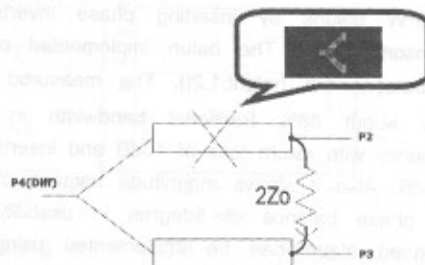


그림4. Phase inverter를 적용한 Wilkinson 발문

FG-CPW구조를 지원하는 회로해석 툴이 없는 관계로 설계시 가장 고려할 사항은 포트와  $\lambda/4$ 라인의 특성임피던스 ( $70.7\Omega, 50\Omega$ )을 갖는 FG-CPW의 파라미터를 찾는 것이다. 그림 5는 다층유전체를 갖는 FG-CPW의 구조체이다.

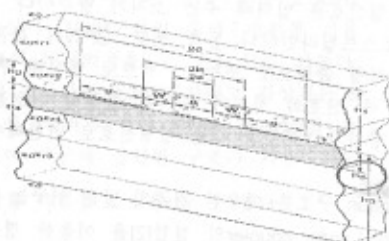


그림5. 다층구조를 갖는 FG-CPW

그림5에서 특성임피던스 50Ω, 70.7Ω을 갖는 파라메타 a, b, c를 찾기 위해 상용화된 기판에 맞게 단일유전체를 갖는 구조로 논의를 좁혔다. 파라메타 a, b, c는 conformal mapping기술을 이용하여 찾을 수 있다.[8]

$$V_F = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K(k)}{K(k')} \Omega \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{1}{2}(\epsilon_r - 1) \frac{K(k)}{K(k')} \frac{K(k_1)}{K(k'_1)} \quad (3)$$

$$k = \frac{e}{b} \sqrt{\frac{b^2 - a^2}{c^2 - a^2}}, \quad k' = \sqrt{1 - k^2} = \frac{a}{b} \sqrt{\frac{c^2 - b^2}{c^2 - a^2}} \quad (4)$$

$$k_i = \frac{\sinh(\pi c/2h_i)}{\sinh(\pi b/2h_i)} \sqrt{\frac{\sinh^2(\pi b/2h_i) - \sinh^2(\pi a/2h_i)}{\sinh^2(\pi c/2h_i) - \sinh^2(\pi a/2h_i)}} \quad (5)$$

$$k'_i = \sqrt{1 - k_i^2} = \frac{\sinh(\pi a/2h_i)}{\sinh(\pi b/2h_i)} \sqrt{\frac{\sinh^2(\pi c/2h_i) - \sinh^2(\pi b/2h_i)}{\sinh^2(\pi c/2h_i) - \sinh^2(\pi a/2h_i)}} \quad i = 5, \dots \quad (6)$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} \quad (7)$$

식(1) ~ 식(7)은 FG-CPW의 위상속도, 특성임피던스, 유효비유전율을 a, b, c의 함수로 표현한 수식이다. 여기서 식(7)은 complete elliptical integral of first kind이다. 위의 식을 Matlab을 이용해 원하는 특성임피던스를 갖는 파라메타의 초기값을 찾고 2.5D EM 해석틀을 이용하여 최적화하였다. 그림6과 표1은 각각의 특성임피던스를 갖는 FG-CPW의 파라메타를 나타낸 그림이다.

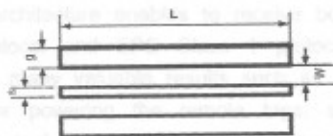


그림6. FG-CPW 파라메타

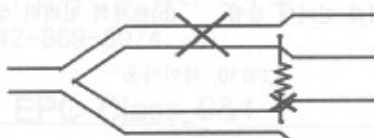
|       | L      | g      | w      | s     |
|-------|--------|--------|--------|-------|
| 50Ω   | 22.5mm | 1.3mm  | 0.2mm  | 2.0mm |
| 70.7Ω | 22mm   | 0.65mm | 0.15mm | 0.4mm |

표1. 50Ω, 70.7Ω을 갖는 파라메타의 dimensions

위의 파라메타를 이용하여 앞절에서 논의한 Wilkinson 구조를 갖는 FG-CPW발문은 EM Simulation을 통해 설계하였다. 그림7(a)는 phase inverter를 50Ω포트 라인에 삽입한 구조이고 그림7(b)는 phase inverter를 두군데 삽입한 구조이다. 도식의 간략화를 위해 X표로 phase inverter를 표현하였고 각 라인은 그림6과 같은 FG-CPW이다. 그림8과 그림9는 각각의 경우에 대한 EM해석 결과이다.



(a) Phase inverter를 한군데 삽입한 구조



(a)Phase inverter를 두군데 삽입한 구조

그림7. 제안한 두가지 구조

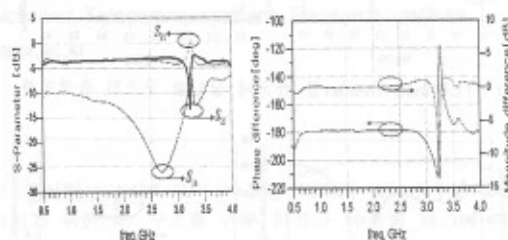


그림8. Phase inverter를 두군데 삽입한 구조의 해석결과

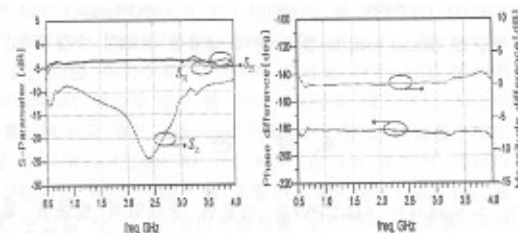
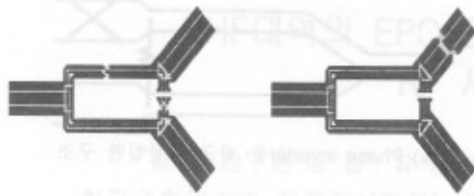


그림9. Phase inverter를 한군데 삽입한 구조의 해석결과

### 3. 제작 및 측정

해석 결과를 바탕으로 FR4기판 (비유전율:4.8, 기판두께:1.2t)에서 제작 및 측정하였다. 그림10은 제안한 두 가지 구조에 대한 레이아웃이다. 그림11과 그림12는 네트워킹 분석기를 이용하여 측정한 결과이다. 중심주파수 2.5GHz를 기준으로 반사손실이 -10dB이하는 주파수범위를 가용주파수라고 하면 88%의 비대역폭을 두 구조 모두 가졌다. 가용주파수 대역에서 진폭차는 0.2dB이하고 위상차는 5도 이하였다. 또한 예상한바와 같이 phase inverter를 두군데 삽입한 구조보다 한군데 삽입한 구조가 가용주파수 이외에도 더 좋은 발문 특성을 보임을 알 수 있다.



(a)두개의 인버터 삽입 (b)한개의 인버터 삽입

그림10. 레이아웃

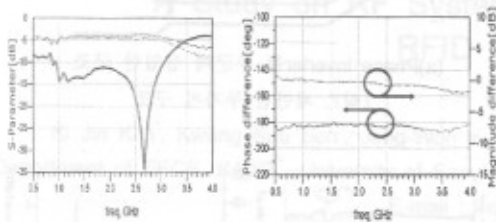


그림11.Phase inverter를 한군데 삽입한 구조의 측정결과

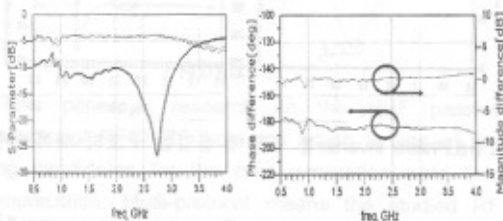


그림12.Phase inverter를 두군데 삽입한 구조의 측정결과

#### 4. 결 론

본 논문에서는 FG-CPW를 이용한 광대역의 발륜을 설계 제작하였다. 기존에 연구된[4],[6],[7]결과를 바탕으로 Wilkinson구조를 갖는 발륜을 설계해 대역폭 88%에 진폭차와 위상차가 각각 0.2dB, 5도 이하의 광대역특성을 얻었다. 또한 예측한 바와 같이 phase inverter를 두군데 삽입한 경우보다 한군데 삽입한 경우가 크기와 위상특성이 더 좋을 수 있으므로 한군데 삽입한 구조의 특성이 더 좋다고 분석된다. 또한 이러한 광대역특성을 나타내는 Wilkinson divider구조가 가진 특성과 phase inverter를 신호라인과 접지 라인을 교차함으로 주파수에 무관하게 180도의 위상변화를 일으키기 때문이다. 설계과정중 phase inverter부분의 보상을 위해 라인의 길이조정이 필요했으며 RFIC공정을 이용하여 제작한다면 더욱 정교한 발륜 특성을 얻을 수 있으리라 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 구본산,이문규," $\lambda/12$ 결합 길이를 갖는 소형 발륜 및 평형 필터 설계", 한국 전자파학회 논문집 제27권 1호
- [2] Rogers,J.,and Bhatia,R. "A 6 to 20GHz planar balun using a Wilkinson divider and Lange coupler", Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International 10-14 June 1991
- [3] Nagi, H.S.; "Miniature lumped element 180/spldeg/ Wilkinson divider" Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, June 2003
- [4] Lim, J.-S., Yang, H.-S., Lee, Y.-T., Kim, S., Seo,K.-S.,Nam,S.,"E-band Wilkinson balun using CPW MMIC technology", Electronics Letters,Vol.40, July 2004
- [5] Kian Sen Ang, Yoke Choy Leong, "Converting baluns into broadband impedance-transforming 180/spldeg/hybrids" Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume 50,Issue 8,Aug. 2002 Page(s):1990 - 1995
- [6] Mgombelo,H.R., Ali, H.O., Kissaka, M.M.,"New impedance transforming rat-race hybrid ring" Electronics Letters Volume 26, June 1990
- [7] Chi-Yang and Chu-Chen Yang,"A novel broadband chebyshev-response race ring coupler", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Apr.1999.
- [8] Rainee N. Simons, "Coplanar Waveguide Circuits ,Components and Systems",Wiley-Interscience, 2001