

신호-접지 교차구조를 이용한 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발문

A Size-Reduced CPW Balun with the Wilkinson Divider Structure Using a Crossing Structure

임종식 · 양희성* · 김동주** · 정용채*** · 안 달 · 김광수****

Jong-Sik Lim · Hoe-Sung Yang* · Dong-Joo Kim** · Yong-Chae Jeong*** · Dal Ahn · Kwang-Soo Kim****

요 약

본 논문에서는 소형화된 CPW(Coplanar Waveguide) 발문을 제안한다. 제안된 발문에는 신호선-접지선 교차 구조가 CPW 전송 선로의 중앙 신호선과 양쪽 접지면 사이에 존재하여 180도의 위상차를 만들어 준다. 따라서 물리적 길이가 $3\lambda/4$ 인 전송 선로가 $\lambda/4$ 의 길이로 줄어들어도 전기적 길이는 270도를 유지하므로 회로의 소형화가 가능하다. 이것은 종래에 제안된 윌킨슨 분배기 구조의 발문이 윌킨슨 분배기 구조를 구성하기 위하여 한 쪽 단자 방향으로 $3\lambda/4$ 길이의 전송 선로를 필요로 하였다는 사실과 비교될 수 있다. 본 논문에서는 또한 CPW 선로의 신호선-접지선 교차 구조가 지니는 180도의 위상차를 측정으로 확인하고 그 결과를 함께 제시한다.

Abstract

In this paper, a novel sized-reduced CPW(Coplanar Waveguide) balun is proposed. It has a crossing structure between signal line and ground planes of CPW transmission line for the 180° phase inversion. The $3\lambda/4$ CPW transmission line is reduced to $\lambda/4$ in physical length while the electrical length is preserved to 270° by the 180° phase inverting structure, while the previous balun by Lim et al. has a long $3\lambda/4$ transmission section to form the Wilkinson divider structure having out of phase between output ports. In addition, the measured data which show the crossing structure has the wanted 180° phase change is presented in this work.

Key words : Wilkinson Divider, Balun, CPW

I. 서 론

발문(balun)은 초고주파 회로 및 시스템 응용에 널리 쓰이는 회로 소자 가운데 하나로서, 여러 가지 회로에 응용하는 목적이 다른 만큼 발문의 형태도 매우 다양하게 존재한다. 발문의 대표적인 기능의 하

나로 180도 위상차를 가진 두 출력 단자로의 전력 분배를 들 수 있다. 이러한 기능적 목적을 충실하게 반영하는 구조의 한 예로 윌킨슨 분배기 형태의 발문을 들 수 있는데(본 논문에서는 이를 윌킨슨 분배기 구조의 발문으로 명명한다.), 윌킨슨 분배기 구조의 단순성과 설계 및 사용에 있어서의 친밀성 때문

「이 논문은 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터(SWCRC)를 통한 지역산업기술 혁신사업(RRC)의 지원에 의한 것임.」
순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

**㈜에이스 테크놀로지(Ace Technology Inc.)

***전북대학교 전자정보공학부(Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University)

****대구경북과학기술연구원(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

· 논문 번호 : 20050521-09S

· 수정완료일자 : 2005년 8월 16일

에 선회되는 구조이기도 하다.

윌킨슨 분배기의 입력 단자를 단자 1이라 하고, 출력 단자를 단자 2와 단자 3이라 할 때, 단자 1과 단자 2 사이, 그리고 단자 2와 격리 저항 사이에 $2\lambda/4$ 전송 선로를 각각 삽입하여 구성된 윌킨슨 분배기가 최근에 제안되었다^[1]. 선행 논문에서는, 제안한 발문 구조의 예로써, CPW MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 기술로 구현한 E-band 발문을 제시하였기 때문에 크기에 있어서 큰 문제가 되지 않았다. 그러나 기제안된 구조는 낮은 주파수에서 구현되었을 경우에 추가적인 $2\lambda/4$ 전송 선로로 인하여 회로가 매우 커진다는 단점을 갖는다.

따라서 크기를 줄이면서도 저주파에서도 참모문헌 [1]에서 제안한 윌킨슨 분배기 구조의 발문이 효과적으로 사용될 수 있도록 하기 위하여, 본 논문에서는 180도 위상 반전부를 $3\lambda/4$ 전송 선로에 삽입하여 크기를 줄인다. 이로써 $3\lambda/4$ 의 전기적 길이를 유지하고 동시에 물리적 길이는 실제로 $\lambda/4$ 에 해당하도록 소형화 한다. 180도 위상반전부의 구현을 위해서 CPW의 중심 신호선과 주변 접지선을 상호 교차시키는 구조를 취하였다.

II. 180도 위상 반전부의 구조

180도 ring-hybrid 회로의 소형화는 오래 전부터 연구되어 왔는데, 1968년 S. March가 stripline으로 구성된 하이브리드의 $3\lambda/4$ 의 부분을 커플러로 대체하여 소형화 한 예를 발표하였다^[2]. 이 회로는 마이크로스트립 선로로도 구현하기가 편리하여 그 이후에도 매우 널리 사용되었다.

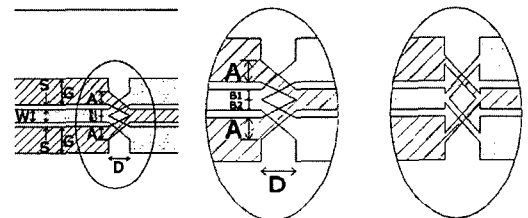
최근 들어서 유한 접지면을 지닌 CPW, CPS(Coplanar Strip), slot과 같은 평면형 전송 선로 구조에 있어서 신호선과 접지선을 서로 엇갈리게 교차시키면 180도의 위상 반전을 얻을 수 있다는 사실이 알려졌다^{[3]~[7]}. 초고주파 영역에서는 접지선도 하나의 상보적인 신호선의 기능을 하므로, 신호선과 접지선이 서로 상호 교차할 경우 순간적으로 180도의 위상차를 추가적으로 지니는 전송 선로가 된다. 이러한 원리는 D-단자 입력시 두 출력 단자의 위상차가 180도가 되어야 하는 magic-Tee 구조의 소형화에 매우 많이 활용된다.

특히 CPW 전송 선로에 있어서, 접지면의 폭을 현

실적으로 무한대로 할 수 없으므로 일정한 길이로 제한하는 경우가 대부분이다. 따라서 CPW의 중심 신호선과 양 옆의 접지선을 서로 교차시키면 180도의 위상 반전 회로를 얻을 수 있다^[4].

그림 1(a)는 유한 접지면 CPW 전송 선로에 180도 위상 반전부를 삽입한 그림을 보여주고 있고, (b)는 이 부분을 확대한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 신호선-접지선 교차 구조는 신호선과 접지선의 선폭 이내 (W, G)에서 형성된다. 상호 교차 구조를 유지하면서 다양한 치수를 이용한 변형이 가능한데, 예를 들어서 그림 1(c)와 같은 경우이다. 어떤 경우이든 " $B1+B2 \leq W$ "과 " $A \leq G$ "의 조건이 지켜지는 것이 좋다. 한편 "D"는 교차 구조를 형성시키기 위하여 필요한 간격이며, D값에 따른 성능의 차이는 미미하다.

3차원적 형상으로 살펴본 신호선-접지선 교차 구조는 그림 2와 그림 3에 보인 것과 같이 air-bridge나



(a) CPW 패턴면 그림 (b) 확대도 (c) 변형된 구조
(a) Top view (b) Magnified crossing structure (c) A modified crossing structure

그림 1. 180° 위상반전을 얻기 위한 신호선-접지선 교차 구조

Fig. 1. Signal-ground crossing structure for 180° phase converting in CPW transmission line.

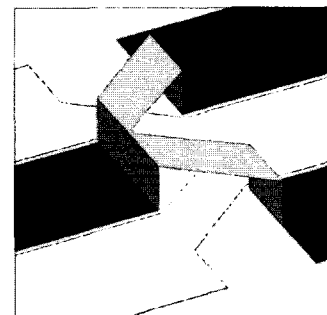
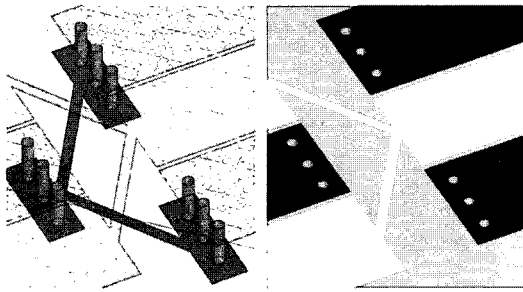


그림 2. Air-bridge 교차 구조

Fig. 2. Air-bridge crossing structure.

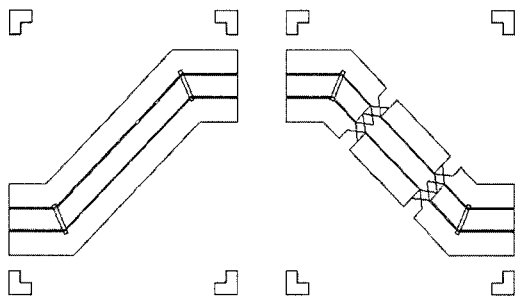


(a) 3차원 투시 그림
(a) 3-dimensional projection
(b) CPW 윗면 금속면 레이아웃
(b) CPW metal pattern on the top surface

그림 3. Bottom-bridge 교차 구조
Fig. 3. Bottom-bridge crossing structure.

또는 bottom-bridge로 구성할 수 있다. Bottom-bridge의 경우에는 다수의 비어홀(via-hole)들이 제작되어야 하며, 이를 위하여 CPW 패턴면 반대쪽 바닥면에 일정 면적의 금속 패턴 면이 존재하여야 한다.

본 논문에서는 신호선-접지선 교차 구조에 의한 180도 위상차를 확인하기 위하여 그림 4와 같은 패턴을 제작하였다. 먼저 그림 4(a)는 정상적인 CPW 전송 선로이고, 그림 4(b)는 180도 위상 반전부가 2개 삽입된 전송 선로이다. 따라서 그림 4(b)의 위상

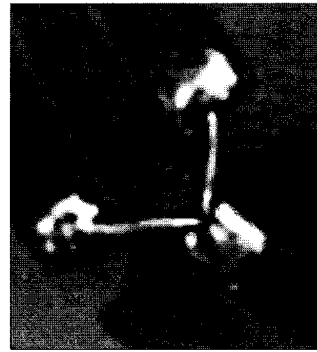


(a) 기준 CPW 전송 선로
(a) Standard CPW line
(b) 2개의 180도 위상 반전부가 포함된 CPW 전송 선로
(b) CPW line having 2 cross sections which produce the additional 360° phase

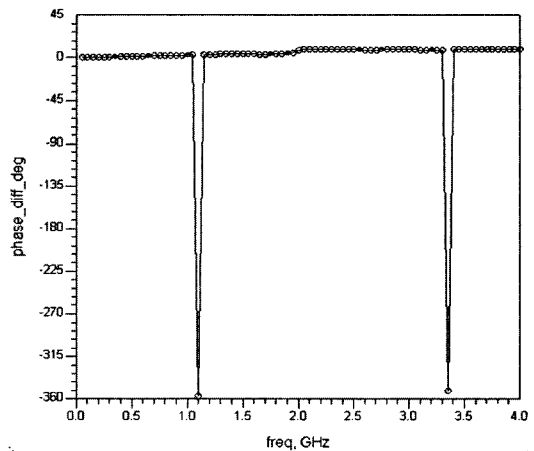
그림 4. 신호선-접지선의 상호 교차 구조에 의한 위상 반전 측정 회로
Fig. 4. CPW transmission lines to measure the phase inversion.

은 360도를 더한 결과이므로 이상적인 경우라면 그림 4(a)와 동일한 위상을 가지면서 손실도 없어야 한다. 그러나 실제로는 작은 값이라도 손실이 존재할 것이며, 또한 신호선-접지선 교차에 의한 180도의 위상차에 약간의 오차가 포함될 것이다.

그림 5(a)는 제작한 180도 위상반전부의 실제 사진이고, 그림 5(b)는 그림 4(a)와 그림 4(b)를 제작후 측정하여 위상값을 비교한 데이터이다. 예상대로 약간의 오차가 보이기 는 하지만, 그림 4(b)의 측정된 위상은 그림 4(a)보다 $(360^\circ + \alpha)$ 의 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 여기에서 α 는 이상적인 값 즉, 0도 (또는 360도)를 약간 벗어나는 값이다. 따라서 위상



(a)



(b)

그림 5. (a) 180도 위상 반전부의 제작 사진, (b) 그림 4(b) 회로의 측정된 위상차($360^\circ + \alpha$)

Fig. 5. (a) Photo of the fabricated phase inverting structure, (b) Measured phase difference due to the phase inverting structures shown in Fig. 4(b) ($360^\circ + \alpha$).

반전부 1개에 기인하는 부가적 위상은 $(180 + \alpha/2)$ 도라 할 수 있으며, $\alpha/2$ 는 이상적인 경우에서 약간 벗어나는 에러 값이라 할 수 있다. 약간의 에러 값은 제작 및 측정 과정에서 이상적인 조건으로부터 미미하지만 조금씩 벗어나는 여러 가지 요인에 기인한다 하겠다. 그림 5(a)의 제작 사진에서 air-bridge 제작시 선로의 종류와 선폭의 굵기가 PCB 패턴면과 서로 다르고, air-bridge의 총 길이가 PCB 부분의 길이와 서로 다른 점 등의 비이상적인 요소가 추가되었음을 고려하더라도, 180도 위상 반전부의 전기적 특성은 이 측정을 통하여 충분히 검증되었다고 할 수 있다.

III. 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬의 구조

위와 같은 180도 위상 반전부를 이용하면 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬을 설계할 수 있다. 그림 6(a)와 (b)는 각각 윌킨슨 분배기의 기본 구조와 기재안된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬 구조를 보여주고 있다. 그림 6(b)는 그림 6(a)에 두 개의 $2\lambda/4$ 전송 선로를 삽입하면 쉽게 설계가 가능하다^[1]. 그러나 이 구조는 $3\lambda/4$ 전송 선로 부분을 지나게 되므로 저주파에서는 크기가 커진다는 단점이 있다. 따라서 이 부분의 물리적 길이를 줄이면서도 전기적 길이를 270도로 만들면 발룬의 특성을 계속 유지할 수 있을 것이다. 이를 위해서 $3\lambda/4$ 전송 선로 부분에 위에서 언급한 180도 위상 반전 구조를 넣어서 실제 길이를 크게 줄인 발룬 회로를 설계할 수 있

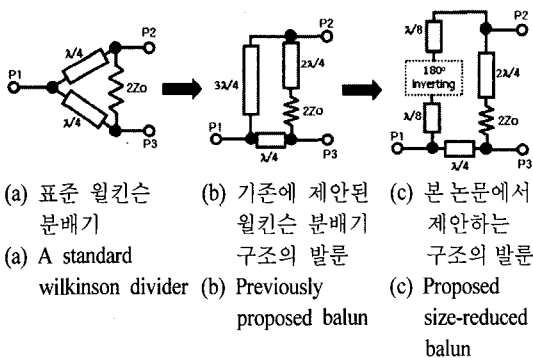


그림 6. 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬의 설계 과정

Fig. 6. Step for the proposed size-reduced CPW balun with Wilkinson structure.

는데, 그 구조가 그림 6(c)에 제시되어 있다.

그림 6(c)의 회로를 더 작게 줄이기 위해서 단자 2와 단자 3 사이의 $2\lambda/4$ 선로에 대하여도 동일한 위상 반전부를 삽입하는 것이 원칙적으로는 가능하다. 그러나 저항을 접합해야 할 물리적 공간을 위한 전송 선로의 추가적 길이가 현실적으로 필요하기 때문에 다소 큰 오차를 발생할 것이기 때문에 바람직하지는 않다.

IV. 소형화된 발룬의 제작 및 측정

그림 7은 소형화 되기 이전과 소형화 이후의 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬을 중심 주파수 2 GHz에서 설계한 회로의 레이아웃을 보여주고 있다. 회로의 설계 및 레이아웃을 위하여 유전율이 2.2이고, 두께가 31 mil인 기판을 사용하였다. 레이아웃을 보면 $3\lambda/4$ 선로의 길이가 교차 구조로 인하여 $\lambda/4$ 의 길이로 줄어들었음을 알 수 있다. 그러나 180도 위상 반전부 때문에 전기적 길이는 동일하다. 초기 발룬 회로에 교차 구조를 삽입하여 소형화한 결과, 처음보다 약 50%의 면적을 갖는 발룬을 얻을 수 있었다.

여기서 한 가지 언급하고자 하는 것은, 현재 제안하고 있는 발룬의 구조가 링 하이브리드 회로와 비슷해 보이지만 서로 다르다는 사실이다. 링 하이브리드 회로는 4단자 회로이면서 실제 사용시 어느 한 단자를 단락(termination)시켜야 하지만, 제안된 발룬 회로는 윌킨슨 분배기를 기본 구조로 취하는 3단자 회로라는 것이다. 물론 기능적, 이론적인 관점에서 볼 때 격리저항 $2Z_0$ 가 링 하이브리드의 발룬 기능 부분과 동일하기는 하지만, 소형화된 발룬의 최종

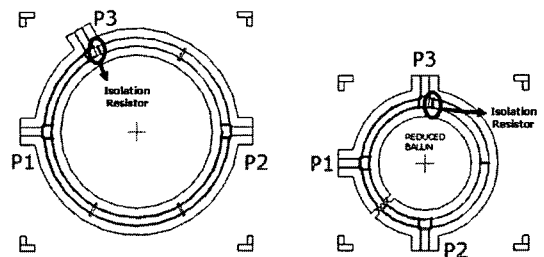


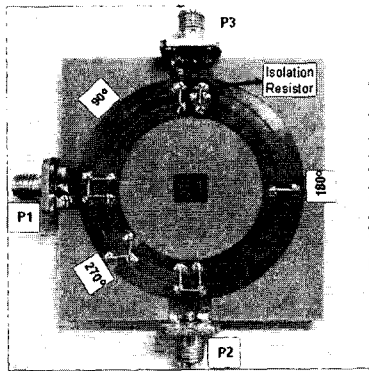
그림 7. 제작된 발룬의 레이아웃

Fig. 7. Layouts of the fabricated baluns.

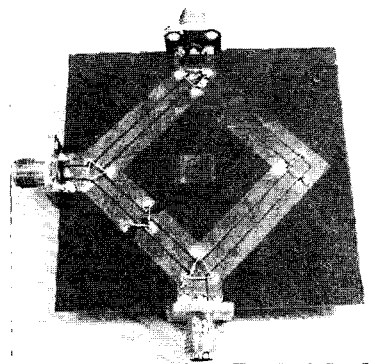
레이아웃과 회로 설계의 모티브(motive)는 분명히 서로 다르다.

그림 8(a)는 그림 7(b)의 레이아웃에 대하여 실제로 제작한 소형화된 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬 회로이다. CPW 전송 선로에 필요한 air-bridge가 곳곳에 삽입되어 있는데, 대학 실험실 수준에서의 작업 공정으로 제작하였기 때문에 air-bridge들을 수작업으로 구현하였다. 전체 레이아웃을 원형으로 구성하기가 다소 곤란할 때는 그림 8(b)처럼 사각형으로 구현해도 된다.

그림 9(a), (b)는 그림 7(a), (b)에 나타난 두 발룬 회로를 제작하여 측정된 S-파라미터를 보여주고 있다. 크기가 50%로 줄어들었음에도 불구하고 전기적 성능에 있어서의 손해(degradation)는 없다. 오히려 소형화된 발룬이 소형화 이전보다 더 광대역

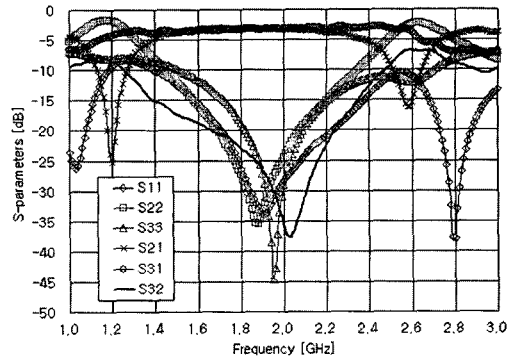


(a) 원형 레이아웃
(a) Circular layout

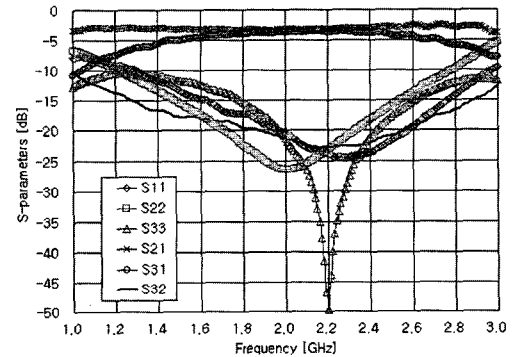


(b) 사각형 레이아웃
(b) Rectangular layout

그림 8. 제작된 발룬의 사진
Fig. 8. Photos of the fabricated baluns.



(a) 소형화 이전의 발룬
(a) Balun with the normal size



(b) 소형화된 발룬
(b) Balun with size-reduction

그림 9. 측정된 S-파라미터
Fig. 9. Measured S-parameters.

에 걸쳐서 우수한 정합과 출력단자간 격리 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 8(b)의 회로에 대한 측정 성능은 그림 8(a)의 회로와 거의 동일하였기 때문에 본 논문에서는 별도로 표기하지 않는다.

그림 10(a), (b)는 두 발룬의 출력간 위상차를 측정 한 결과이다. 소형화된 발룬이 이상적인 180도의 위상차에 더 가까운 특성을 지니는 것을 알 수 있다. 또한 대역에 따른 위상차 변화를 비교해 봐도 제한 한 발룬이 더 넓은 대역폭을 갖고 있으며 위상 변화가 더 완만함을 알 수 있다. 이것은 순수하게 270도의 전기적, 물리적 길이를 가지고 발룬을 구성하는 경우에 주파수 의존성이 높아서 광대역 특성을 얻어 내기 어렵다는 일반적인 현상과 일치한다.

CPW의 신호선-접지선 교차 구조를 삽입한 경우는, 교차 구조 자체가 주파수 의존성이 없는 광대역

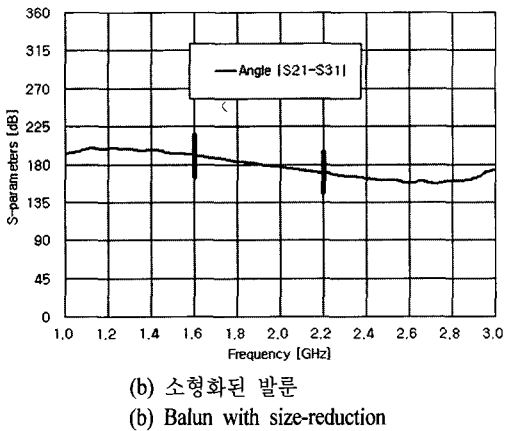
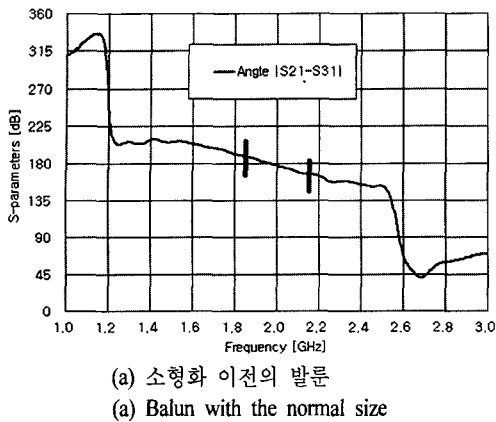


그림 10. 두 출력간 위상차의 측정 결과
Fig. 10. Measured phase difference between output ports.

구조이고, 또한 나머지 필요한 전송 선로의 길이도 $\lambda/4$ 에 불과하여 길이와 주파수에 따른 위상차 에러가 더 작기 때문에 보다 광대역의 특성을 얻을 수 있다. 180 ± 10 도의 위상차를 기준으로 했을 때, 소형화 이전의 초기 발룬 회로는 약 300 MHz의 주파수 대역폭을 가졌지만, 제안된 소형화된 발룬은 약 600 MHz의 대역폭을 갖는 것으로 측정되었다.

V. 맺음말

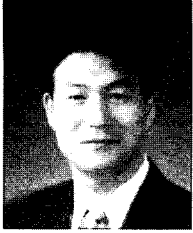
본 논문에서는 CPW의 신호선과 접지선간의 상호 교차 구조에 의한 180도 위상 반전부를 활용하여 CPW 윌킨슨 분배기 구조의 발룬을 소형화 하는 방법을 제안하였다. 이를 위한 선행 작업으로 180도 위상 반전부 회로를 직접 제작하고, 표준형 CPW 전송 선로와 함께 그 특성을 비교 측정하여 180도의 위상

반전을 확인하였다. 제안한 방법으로 소형화된 발룬의 크기는 초기 회로 면적의 약 절반에 불과하였다. 그러나 소형화된 발룬의 측정된 S-parameter는 소형화 이전의 발룬보다 광대역 정합, 격리 특성 및 위상 특성에 있어서 더욱 우수한 특성을 보여주었다. 본 논문에서 제안하는 소형화 방법은 CPW 전송 선로로 구성된 모든 평면형 회로에 적용이 가능하다. 따라서 회로의 크기가 클 수밖에 없는, 비교적 낮은 영역의 RF/마이크로파 주파수 대역 회로 응용 및 소형화에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J. S. Lim, H. S. Yang, Y. T. Lee, S. Kim, K. S. Seo, and S. Nam, "E-band Wilkinson balun using CPW MMIC technology", *IEE Electronics Letters*, vol. 40, no. 14, pp. 879-880, Jul. 2004.
- [2] S. March, "A wideband stripline hybrid ring", *IEEE MTT Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 16, no. 6, pp. 361, Jun. 1968.
- [3] T. Wang, K. Wu, "Size-reduction and band-broadening design technique of uniplanar hybrid ring coupler using phase inverter for M(H) HICs", *IEEE MTT Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 2, pp. 198-206, Feb. 1999.
- [4] C. W. Kao, C. H. Chen, "Miniaturized uniplanar 180° hybrid-ring couplers with $0.8 \lambda_g$ and $0.67 \lambda_g$ circumferences", *2000 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings*, pp. 217-220, Dec. 2000.
- [5] M. H. Murgulescu, E. Moisan, P. Leguad, E. Penard, and I. Zaquine, "New wideband $0.67 \lambda_g$ circumferences 180° hybrid ring coupler", *Electronics Letters*, vol. 30, no. 4, pp. 299-300, Feb. 1994.
- [6] L. Fan, C. H. Ho, S. Kanamaluru, and K. Chang, "Wide-band reduced-size uniplanar magic-T, hybrid-ring, and de rondes CPW-slot couplers", *IEEE MTT Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, no. 12, pp. 2749-2758, Dec. 1995.
- [7] C. Y. Chang, C. C. Yang, "A novel broad-band Chebyshev-response rat-race coupler", *IEEE MTT Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 4, pp. 455-462, Apr. 1999.

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
 1993년 2월~1999년 3월: 한국전자

통신연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원

2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연구원

2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관

2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송통신연구단 전파기술연구그룹 선임연구원

2005년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용

정 용 채



1989년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 2월~1998년 2월: 삼성전

자 정보통신본부 선임연구원

1998년 3월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 부교수 및 전북대학교 IDEC WG 책임교수

[주 관심분야] 초고주파 회로 해석 및 설계, 전력증폭기 및 선형화기 설계, RFIC 설계, 전송 선로 주기구조 해석

양 회 성

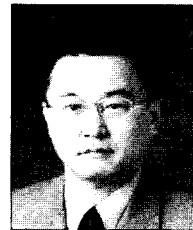


2003년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
 2005년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 2005년 7월~현재: 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] RF 능동 및 수동 회로 설계

로 설계

안 달



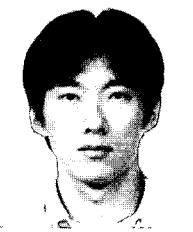
1984년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 8월~1992년 2월: 한국전자

통신연구원 선임연구원

1992년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수

[주 관심분야] RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계

김 동 주



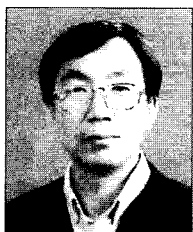
2003년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학석사)

2005년 3월~현재: (주)에이스테크 놀로지 연구원

[주 관심분야] LTCC, RF 수동회로

설계 및 응용

김 광 수



1981년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)

1983년 2월~1998년 12월: 한국전자통신연구원 책임연구원

1999년 1월~2005년 4월: 정보통신연구진흥원 책임연구원

2005년 4월~현재: 대구경북과학기술연구원 책임연구원

[주 관심분야] 반도체 소자의 초고주파 회로 응용