

가유전체 기판을 이용한 소형화된 링 하이브리드 커플러의 설계

임종식*

¹순천향대학교 전기공학과

Design of a Size-reduced Ring Hybrid Coupler Using an Artificial Dielectric Substrate

Jongsik Lim^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 논문에서는 가유전체 기판을 이용하여 소형화된 마이크로파 대역의 링 하이브리드 커플러 설계에 대하여 기술한다. 가유전체 기판은 다수의 비어홀을 제 2기판에 삽입하여 유효 커패시턴스를 크게 증가시킨 구조를 갖는다. 가유전체 기판의 유효유전율은 표준형 기판에 비하여 크게 증가하게 되는데, 이에 의하여 동일한 전기적 길이 대비 물리적 길이가 크게 감소하므로 마이크로파 전송선로를 소형화시킬 수 있다. 이런 원리를 마이크로파 무선회로 설계에 적용한 사례를 보이기 위하여 가유전체 기판을 이용하여 3GHz대 링 하이브리드 커플러를 설계하고 실제로 제작 및 측정된 결과를 제시한다. 설계된 소형화된 링 하이브리드 커플러는 표준형에 비하여 전기적 성능은 유사하면서도 65%의 크기를 가진다. 측정된 전력분배비는 각각 -3.05dB와 -3.135dB이며, 두 출력간의 위상차는 동위상일 때 3도, 역위상일 때 176도로 이상적인 값과 매우 유사하다. 이로써 가유전체 기판구조로 소형화된 링 하이브리드 커플러의 설계가 타당함을 보인다.

Abstract This paper describes the design of a size-reduced ring hybrid coupler for microwave band using an artificial dielectric substrate(ADS). ADS structure adopts the second substrate on which has lots of the metalized via-holes. The effective capacitance and effective dielectric constant per unit length of ADS increases compared to the normal substrate due to the via-holes. This enables the physical length of microstrip transmission line to be reduced by adopting ADS instead of the normal substrate. In order to present an example of size-reduction of microwave wireless circuit by ADS, a size-reduced 3GHz ring hybrid coupler is designed, fabricated and measured in this work. The designed coupler has the smaller size from the normal one by 65% due to the ADS, while no critical degradation from ideal performances is observed. The measured power division ratio at two output ports are -3.05dB and -3.135dB, respectively. In addition, the phase differences are 3o for in-phase division and 176o for out of phase split. The measured performances are so similar to ideal ones, and prove the design of size-reduced ring hybrid coupler using ADS is successful.

Key Words : ADS, microstrip line, ring hybrid coupler

1. 서론

가유전체 기판 또는 임의유전체 기판(artificial dielectric substrate, ADS)은 서로 분리된 두 유전체층을 맞붙여 하나의 유전체층인 것처럼 구성된 구조이다. 위

에 있는 유전체 층의 상면에는 전송선로의 패턴이 구현되고, 하면 도체층은 모두 제거되어 유전체면이 모두 노출된다. 아래에 있는 유전체 층의 상면 도체층도 모두 제거되어 유전체면이 노출되나, 하면 도체층은 전송선로의 접지면 층으로 존재하게 된다. 따라서 두 유전체 층을 그

본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구결과임. (2010-0009211)

*Corresponding Author : Jongsik Lim(Soonchunhyang Univ.)

Tel : +82-41-530-1332 email: jslim@sch.ac.kr

Received January 9, 2014

Revised February 5, 2014

Accepted May 8, 2014

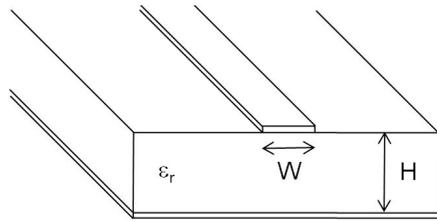
대로 접합하면 노출된 유전체면끼리 맞닿게 되므로 마치 하나의 유전체층인 것처럼 구성된다. 그러나 구조상 가장 중요한 것이 바로 아래 유전체 층을 관통하는 다수의 주기적 도금된 비어홀(metalized via-hole)이 존재한다는 것이다. 다수의 비어홀이 무한주기성을 가진 채 삽입되므로 이로 인한 추가적인 커패시턴스가 우세하게 부가된다[1-4].

어떤 유전체 기판이든지 그것이 갖는 고유한 비유전율(relative dielectric constant, ϵ_r)값이 존재하게 되는데, 이를 기반으로 하여 전송선로의 특성 임피던스(Z_0)에 따른 선폭과 길이가 결정된다[5-7]. 따라서 어떤 특정한 Z_0 에서의 선폭과 이때의 유효유전율(effective dielectric constant, ϵ_{eff})값이 서로 관련을 가지고 있다. 그런데 가유전체 기판 구조에서는 다수의 비어홀에 의하여 전송선로의 단위 길이당 커패시턴스 효과가 표준형 전송선로에 비하여 매우 커지므로 당연히 유효유전율이 증가하게 된다. 그리고 증가한 유효유전율은 동일한 전기적 길이 대비 물리적 길이의 감소를 가져오기 때문에 전송선로나 회로의 소형화에 크게 유리하게 된다.

이런 내용을 바탕으로 하여 본 논문에서는 가유전체 기판 구조를 이용한 초고주파 대역 회로의 소형화 설계의 사례로서 링 하이브리드 커플러(ring hybrid coupler)의 소형화 설계에 대하여 기술하고자 한다. 표준형 마이크로스트립 전송선로 구조를 이용하여 설계한 커플러 회로와 가유전체 기판 구조를 이용하여 설계한 회로를 비교하고, 후자의 회로가 표준형에 비하여 훨씬 소형화됨을 보인다. 또한 소형화 이후에도 표준형 회로와 비교하여 동일한 전기적 성능이 유지됨을 설명한다.

2. 가유전체 기판 구조에 대한 개략적 고찰

초고주파 대역에서 대표적으로 사용되는 마이크로스트립 전송선로는 Fig. 1에 보인 것처럼 비유전율(relative dielectric constant)이 ϵ_r 이고 두께가 H인 유전체 기판을 사이에 두고 양면에 도체면이 도포된(plated) 구조를 갖는다. 한쪽 도체면은 무한 평면으로 접지면을 형성하고, 다른 한쪽 면은 선폭이 W인 가느다란 막대 형태의 구조를 취한다. 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스(characteristic impedance) Z_0 는 W의 값에 따라 결정되는데, 역으로 특정한 Z_0 에 맞는 W를 결정하기도 한다[6].

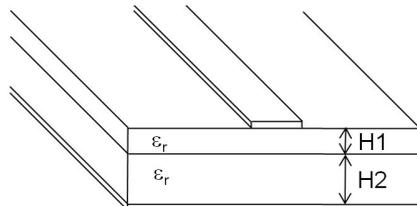


[Fig. 1] Structure of normal microstrip lines

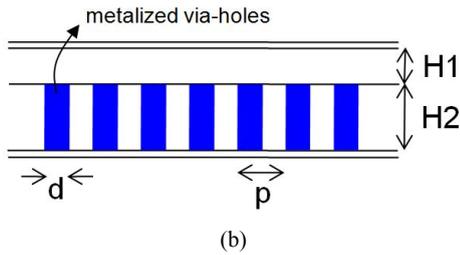
마이크로스트립 선로의 특성 임피던스를 설명하는 수학적 모델식은 $Z_0 = \sqrt{L/C}$ 인데, 여기서 L과 C는 각각 전송선로의 단위길이당 등가의 인덕턴스와 커패시턴스이다. 따라서 Z_0 는 L/C비의 제곱근에 비례함을 알 수 있다[8].

여기서 얻을 수 있는 중요 정보는 전송선로의 단위 길이당 등가의 인덕턴스나 커패시턴스를 변화시켜 주면 동일한 선폭(W)이라고 해도 Z_0 가 바뀔 수 있다는 점이다. 이런 관점에서의 종래의 대표적 연구 결과가 바로 주기적 PBG(photonic bandgap)나 DGS(defected ground structure)를 응용한 연구 결과들이었다[9,10]. 즉, PBG나 DGS 패턴에 의하여 단위 길이당 등가의 L을 크게 키워서 Z_0 를 높여주는 방법이었던 것이다. 이 방법은 L을 키우는 방법이기에 때문에 주로 Z_0 를 증가시키는 방향으로 많이 적용되었다.

만약에 단위 길이당 등가의 C를 증가시키는 방법이 있다면 이것은 동일한 선폭에 대하여 Z_0 를 낮춰주는 방법이 된다. 따라서 표준형 마이크로스트립 전송선로의 특성 임피던스의 구현 한계를 아래쪽으로 확장하는 장점을 갖게 된다. 등가의 C를 증가시키는 유용한 방법이 바로 Fig. 2에 보인 가유전체 기판 구조이다[1]. 가유전체 기판 구조에 대한 자세한 설명은 이미 발표된 선행 연구에 잘 되어 있으므로 본 연구에서는 간략하게만 설명하기로 한다.



(a)



(b)
 [Fig. 2] Microstrip lines on the artificial dielectric structure (a)two-layered substrate structure (b)side view of lots of metalized via-holes realized through the second substrate

Fig. 2에 보인 가유전체 기판에 의한 마이크로스트립 전송선로 구조를 보면 다음과 같다. 위쪽 제 1기판의 상면은 표준형과 동일하게 마이크로스트립 전송선로 패턴이 구현되고, 아래 제 2기판의 바닥면은 넓은 금속 접지면으로 뒤덮인다. 제 1기판의 바닥면과 제 2기판의 상면은 도체가 없이 유전체가 노출된 채 서로 맞닿게 된다. 가유전체 기판 구조에서 중요한 점은 바로 제 2기판의 유전체층에 다수의 도금된 비어홀(metalized via-holes)들이 무한 주기적으로 구현된다는 점이다. 지름이 d 이고 일정 간격(pitch) p 로 배열된 다수의 비어홀들은 등가적으로 전송선로의 더 많은 커패시턴스를 추가하게 되므로 표준형 선로에 비하여 단위길이당 더 큰 커패시턴스를 갖게 된다. 따라서 동일한 선폭일 때 특성 임피던스가 더 낮아지게 된다. 가유전체 기판구조에서 주목할 점은 증가한 커패시턴스로 인한 유효유전율(effective dielectric constant, ϵ_{eff})의 증가와 비어홀의 크기나 주기적 간격에 따른 ϵ_{eff} 의 가변성을 들 수 있다.

종래의 PBG 또는 DGS와 같은 주기구조나 가유전체 기판 구조를 적용한 전송선로의 공통적인 장점으로, 동일한 물리적 길이의 전송선로라고 하더라도 전기적 길이가 표준형 전송선로에 비하여 더 증가한다는 사실을 들 수 있다. 왜냐하면 표준형 전송선로 구조에 추가적으로 인덕턴스나 커패시턴스 구조가 더해지기 때문에 전송선로의 등가회로적인 밀도가 증가하기 때문이다. 따라서 이런 특성을 유익하게 사용하면 표준형 마이크로스트립 선로로 설계한 초고주파 대역의 무선회로에 대하여 동일한 주파수에서의 전기적 성능을 유지한 채 크기가 더 작은 회로를 설계할 수 있다. 이것은 무선회로의 설계가 전기적 길이를 기준으로 설계되기 때문에 얻을 수 있는 장점이라 할 수 있다. 본 논문에서 가유전체 기판 구조를

이용하여 링 하이브리드 커플러 회로를 소형화하여 설계하고자 하는 목표도 이런 기술적 배경을 토대로 한다.

3. 가유전체 기판구조에 의한 마이크로스트립 전송선로

이제 본 장에서는 링 하이브리드 커플러 회로에 필요한 마이크로스트립 전송선로의 설계에 대하여 기술하고자 한다. 우선 두 유전체층을 위하여 $H1$, $H2$ 가 각각 5mils(=0.127mm), 31mils(=0.7874mm)이고 ϵ_r 이 2.2인 두 기판을 선택하였다. 제 2기판층에 구현되는 비어홀의 지름(d)은 0.8mm이고, 일정 주기 간격(p)은 1.3mm이다.

링 하이브리드 커플러 회로는 70.7 Ω 의 특성 임피던스를 갖는 전송선로가 1.5 λ_g 의 길이로 폐곡면을 이루는 구조를 취하고 있고, 여기에 기준 임피던스인 50 Ω 을 갖는 선로가 외부와의 연결 선로로 사용된다. 만약에 주어진 두 기판을 이용하여 유전체 두께가 36mils(0.9144mm)이고 ϵ_r 이 2.2인 기판이라 가정하고 50 Ω 표준형 마이크로스트립 전송선로를 설계할 경우에, 1GHz에서 선폭은 2.77mm이고 $\lambda_g/4$ 의 길이는 54.74mm이다. 그러나 가유전체 기판 구조로 설계한 전송선로의 경우 같은 50 Ω 일 때 선폭은 1.28mm이고 $\lambda_g/4$ 의 길이는 41.92mm에 불과하다.

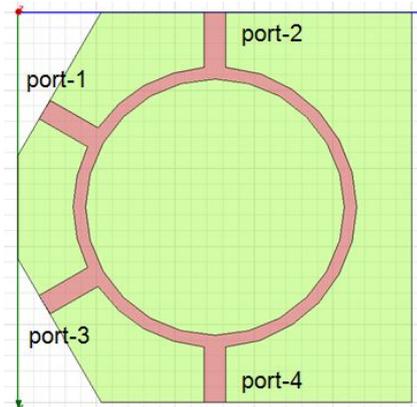
특성 임피던스가 70.7 Ω 인 선로에 대해서도 마찬가지로 가유전체 기판 구조인 경우가 표준형에 비하여 훨씬 크기가 작다. 따라서 가유전체 기판 구조로 마이크로스트립 전송선로를 설계하고 이를 토대로 하여 링 하이브리드 커플러회로를 설계할 경우에 표준형에 비하여 크기가 크게 줄어들 것을 예측할 수 있다. Table 1은 링 하이브리드 커플러에 사용되는 두 가지 임피던스 선로에 대한 설계 결과를 비교한 것이다. 한편 마이크로스트립 전송선로를 설계하기 위하여 Ansoft社의 HFSS(high frequency structure simulator)를 사용하였다.

[Table 1] Comparison of the width and physical length of two microstrip lines

Z_0 [Ω]	normal microstrip line		ADS substrate microstrip line	
	line width [mm]	$\lambda_g/4$ [mm]	line width [mm]	$\lambda_g/4$ [mm]
50	2.77	54.74	1.28	41.92
70.7	1.56	55.70	0.7	43.18
remarks	@1GHz, $\epsilon_r=2.2$, $H=36\text{mils}=H1(5\text{mils})+H2(31\text{mils})$			

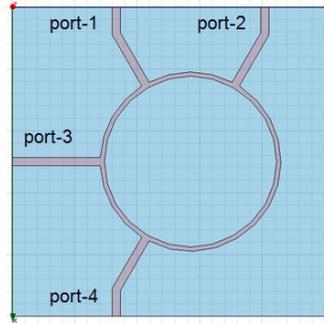
4. 링 하이브리드 커플러의 소형화 설계

이제 본 장에서는 링 하이브리드 커플러를 가유전체 기판 구조로 소형화하여 설계한 결과에 대하여 기술하고자 한다. 링 하이브리드 커플러는 높은 주파수 대역의 통신 및 무선시스템에 널리 사용되는 회로중 하나인데, 입력 단자에 따라서 두 출력간의 위상차가 동위상이 되기도 하고 역위상이 되기도 하는 특성을 가지고 있다. 따라서 커플러 회로 그 자체로서보다는, 무선통신시스템이나 상위 레벨의 고주파 회로의 설계에 많이 사용된다[11]. 링 하이브리드 커플러 회로에 대한 구성 및 자세한 동작 원리는 참고 문헌들에 자세하게 밝혀져 있으므로 본 논문에서는 이에 대한 자세한 기술은 생략한다. 본 논문에서는 설계예로 3GHz대 회로를 가유전체 기판 구조로 소형화하여 설계한다.



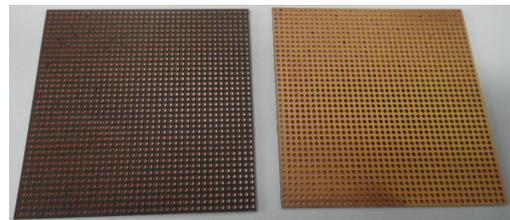
[Fig. 3] Layout of the 3GHz coupler designed using normal microstrip line (outer radius=18.01mm)

Fig. 3은 비교 목적으로 설계한, 표준형 마이크로스트립 전송선로로 구성된 3GHz대 링 하이브리드 커플러 회로이다. 두께가 36mils이고 비유전율이 2.2인 유전체 기판으로 회로를 설계한 결과 길이가 1.5λ에 해당하는 원형 레이아웃에서 외부원의 반지름이 18.01mm이었다. 따라서 순수한 커플러 부분의 크기를 의미하는 외부원의 면적은 1,019mm²이다. 네 개의 단자에 연결되는 50Ω 선로의 길이는 편의상 조절이 가능하므로 크기 비교에서 제외하고자 한다.



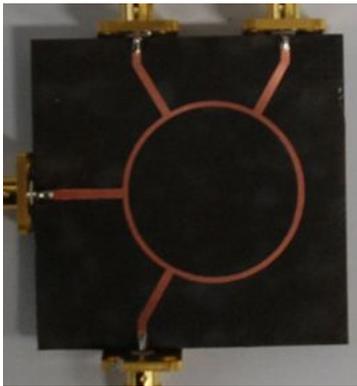
[Fig. 4] Layout of the 3GHz coupler designed using artificial dielectric substrate (outer radius=14.5 mm)

이제 Table 1에 제시한 것처럼 가유전체 기판 구조로 설계한 50Ω과 70.7Ω의 전송선로를 이용하여 소형화된 커플러 회로를 설계할 수 있다. Fig. 4는 가유전체 기판 구조로 설계한 커플러 회로의 레이아웃을 보여 준다. 순수한 커플러 회로 부분에 해당되는 원형 레이아웃의 바깥쪽 원 반지름은 14.5mm이고 면적은 660.5mm²이다. 따라서 표준형 회로에 비하여 65%의 크기를 가지는데, 가유전체 기판 구조를 적용함으로써 35%의 면적 소형화를 이룩했음을 알 수 있다.



[Fig. 5] Photograph of the top and bottom planes of the second substrate for the artificial dielectric substrate (50mm×50mm)

Fig. 5는 가유전체 기판 구조를 위하여 제작한 제 2기판층의 윗면과 바닥면의 제작사진이다. 전술했듯이 비어홀의 지름(d)은 0.8mm이고 일정간격(p)은 1.5mm이다. 두께가 31mils이고 비유전율이 2.2인 기판 원판을 이용하여 제작하였다. 면적은 50mm×50mm인데, 이렇게 크기를 결정한 이유는 다수의 비어홀을 가진 제 2기판층의 제작 과정에서, 어떤 정형화된 크기를 가지고 있어야 제작이 용이하였기 때문이다. 이런 이유 때문에 Fig. 4에 보인 레이아웃에서 50Ω 부분의 길이를 조절하여 50mm×50mm로 맞춘 것이다.

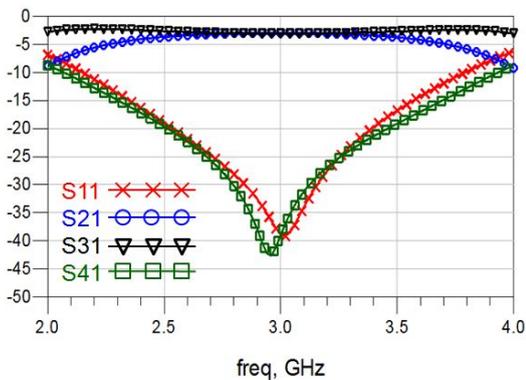


[Fig. 6] Photograph of the size-reduced ring hybrid coupler (50mm×50mm)

Fig. 6은 Fig. 4처럼 설계된 회로를 실제로 제작한 사진을 보여주고 있다. Fig. 6에는 제 1기판층의 상면인 회로 패턴면만 보이지만, 실제로는 아래층에 Fig. 5에 보인 제 2기판층이 겹쳐져 있다. 상기에서 설명한 대로 제 2기판층이 제작상의 이유로 50mm × 50mm의 크기를 가지고 있어서 커플러 회로도 각 단자에 연결되는 50Ω 선로를 길게 연장하여 50mm × 50mm의 크기로 맞추었다.

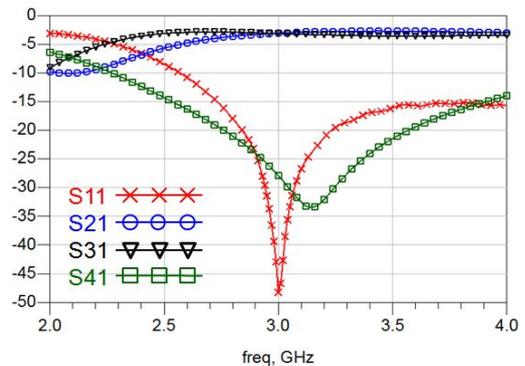
5. 소형화된 커플러의 제작 및 측정

위와 같이 가유전체 기판 구조로 소형화하여 설계한 3GHz대 링 하이브리드 커플러 회로의 성능을 측정하고, 이를 시뮬레이션 결과와 비교하여 보았다.



[Fig. 7] Simulated S-parameters of the size-reduced ring hybrid coupler

Fig. 7은 단자 1로 입력 신호를 넣었을 때 단자 2와 단자 3에 각각 1/2씩 전력이 분배되어 나타나고(S21과 S31이 -3dB 근처), 동시에 단자 4에는 신호가 격리(isolation, 즉 S41이 -20dB 이하)되어 나타나지 않음을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 이러한 특성은 네 개의 단자 가운데 어느 단자에 입력신호를 넣어도 동일하게 나타나기 때문에 본 논문에서는 대표적으로 단자 1에 입사한 경우에 대한 그림만을 제시한다. 이처럼 링 하이브리드 커플러는 입력신호를 두 출력단자로 나눠주는 전력 분배기의 기능을 갖는다.



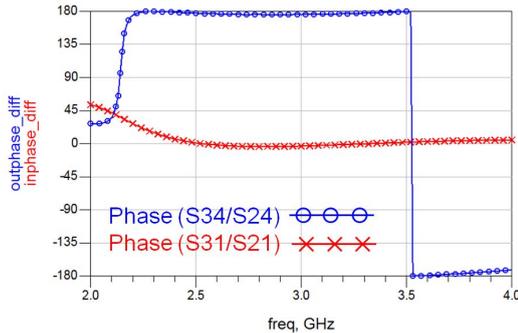
[Fig. 8] Measured S-parameters of the size-reduced ring hybrid coupler

Fig. 8은 Fig. 6처럼 실제로 제작한 커플러의 측정된 성능을 보여주고 있다. 두 출력단자에서의 전력분배 특성과 격리 특성을 측정한 결과, 예측된 성능과 유사하게 S21과 S31이 3GHz에서 각각 -3.05dB와 -3.135dB였다. 또한 S41이 -25dB 이하의 특성을 보임을 알 수 있다. 약간의 주파수 이동 현상이 보이지만 원하는 주파수대에서의 성능 특성을 크게 저해할 만한 수준은 아님을 Fig. 8을 통해서 알 수 있다.

이제 Fig. 4를 이용하여 링 하이브리드 커플러의 이상적인 위상차 특성에 대하여 간단하게 설명한 이후에 측정 결과를 제시하고자 한다. 단자 1로 입력된 신호를 절반씩 나눠서 단자 2와 단자 3에서 출력된다. 이 때 출력 신호의 위상은 같으므로 동위상이 되어 위상차가 이상적으로는 0도이다. 만약에 단자 3이 입력단자라면 마찬가지로 단자 1과 단자 3에 동위상으로 전력이 분배되어 나타나게 된다.

이제 단자 4에 입력신호가 인가되는 경우를 살펴보자. 이때는 단자 2와 단자 3으로 절반씩의 전력이 분배되어

나타나지만, 두 출력 신호간 서로 180도 위상차를 갖는다는 것에 주의해야 한다. 이것은 입력단자로부터 단자 2와 단자 3으로 도달하는 경로가 서로 $\lambda/2$ 의 차이가 나기 때문이다. 만약에 단자 2가 입력단자라면 마찬가지로 단자 1과 단자 4에 180도 역위상으로 전력이 분배되어 나타나게 된다.



[Fig. 9] Measured phase-difference characteristics of the size-reduced ring hybrid coupler

Fig. 9는 제작한 커플러 회로의 위상차 특성을 보여주고 있다. 앞서 설명한 대로 단자 1로 입력신호를 인가한 경우에는 단자 2와 3에서 서로 동위상의 신호가 검출되었고 위상차 오차는 3도였다. 또한 단자 4에 입력신호를 입사했을 경우에는 단자 2와 단자 3에서 서로 역위상의 신호가 출력으로 나타났는데, 위상차는 176도로 위상차 오차는 약 4도였다.

상기와 같은 측정 결과를 통하여 가유전체 기관구조로 소형화되어 설계 및 제작된 링 하이브리드 커플러의 성능이 이상적인 특성과 유사함을 알 수 있다. 따라서 35% 가량의 소형화에도 불구하고 성능상의 현저한 열화 (degradation)가 발생하지 않고 성공적으로 설계 및 제작이 이루어졌다고 말할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 가유전체 기관 구조의 마이크로스트립 전송선로 구조를 이용하여 무선시스템용 초고주파 대역에서 널리 사용하는 링 하이브리드 커플러 회로를 소형화하여 설계하였다. 또한 설계한 회로를 실제로 제작 및 측정하여 그 결과를 제시하여 설계의 타당성을 검증하였다. 예로써 설계된 30GHz대 가유전체 기관 링 하이브리드

커플러는 표준형 설계의 65%의 면적을 가졌다. 제작된 회로의 측정 결과 이상적인 특성에 근접하였으며, 이로써 성능상의 큰 열화없이 소형화 설계가 성공적으로 이루어졌다고 말할 수 있다. 본 연구에서 기술된 가유전체 구조를 이용한 무선시스템용 회로의 소형화 설계는 다양한 회로 및 안테나의 소형화 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대되는데, 추후에 지속적인 연구를 통하여 응용 사례를 확장할 예정이다.

References

- [1] M. Coulombe, H. V. Nguyen, and C. Caloz, "Substrate Integrated Artificial Dielectric (SIAD) Structure for Miniaturized Microstrip Circuits", IEEE. Antenna and Wireless Propagation Letters, vol. 6, pp. 575-579, Dec. 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2007.910959>
- [2] J. Lim, J. Koo, S. Han, Y. Jeong and D. Ahn, "A Method for Calculating the Characteristic Impedance of Substrate Integrated Artificial Dielectric Transmission Lines", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 58, no. 8, pp. 1585-1591, Aug 2009.
- [3] J. Lim, J. Lee, K. Kwon, and D. Ahn, "Design of An Asymmetric Branch Line Coupler Using Artificial Dielectric Substrate", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 13, no. 5, pp. 2319-2324, May 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.2319>
- [4] K. Kwon and J. Lim, "Design of a Transmission Line using Defected Ground Structure and Artificial Dielectric Substrate", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 14, no. 7, pp. 3474-3481, Jul 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.7.3474>
- [5] H. Howe Jr., Stripline Circuit Design, Artech House, Mass., 1979.
- [6] K. C. Gupta, R. Garg, I. Bahl, and P. Bhartia, Microstrip Lines and Slotlines, 2nd ed., Artech House, Boston, 1996.
- [7] B. C. Wadell, Transmission Line Design Handbook, Artech House, Boston, 1991.
- [8] W. Hayt Jr. and J. Buck, Engineering Electromagnetics, 7th ed., McGraw-Hill, New York, pp. 343-345, 2006.
- [9] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel

2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines,”
IEEE Microwave Guide Wave Letters, vol. 8, no. 2, pp.
69-71, Feb. 1998.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/75.658644>

- [10] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and J. B. Lim, “A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits,” IEEE Microwave Guide Wave Letters vol. 10, no. 4, pp. 131-133, Apr. 2000.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/75.846922>

- [11] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 3rd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 2005.

임 종 식(Jongsik Lim)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 2005년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원

- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 재직중

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등