

논문 2010-47TC-11-11

도파관 천이 구조를 갖는 모노펄스 레이더용 4-Way 윌킨슨 분배기 설계

(Design of 4-Way Wilkinson Divider with Waveguide to Stripline
Transition Used in The Monopulse Radar Front-end)

고 영 목*, 나 극 환**

(Young-Mok KOH and Keuk-Hwan Ra)

요 약

본 논문에서는 X-Band 모노펄스 레이더 RF 프론트 엔드에서 국부발진 신호를 동일 진폭, 동일 위상으로 분배하는 도파관 천이 구조를 갖는 4-Way 윌킨슨 분배기 설계에 대해 연구하였다. X-Band에서 동작하는 모노펄스 레이더 프론트 엔드는 합, 방위각 및 고각 신호를 하강변환 하는 3개의 도파관 수신믹서와 체계 연동시 X-Band 시험신호를 발생하는 SSB 도파관 믹서로 구성된다. 프론트 엔드를 구성하는 각 믹서에 국부발진(LO : Local oscillator) 신호를 입력하기 위해서는 저 손실 특성을 가지면서 동일 전력 레벨과 동 위상으로 LO 전력을 분배하는 4-Way 분배기가 요구된다. 본 논문에서는 저 손실, 동 위상으로 LO 신호를 분배하기 위해 도파관 천이 구조를 갖는 4-Way 윌킨슨 분배기를 설계/제작 하였다. 제작된 윌킨슨 전력 분배기는 X-Band에서 삽입손실이 평균 6.8dB, VSWR은 1.06~1.28였으며, 이때 각 단자 출력 위상차는 최대 4.5도 이내를 유지하였다.

Abstract

From the present paper we researched about the design of 4-Way Wilkinson divider with waveguide to stripline transition which used to split the LO signal with equi-amplitude and equi-phase in the X-Band Monopulse radar RF front-end. The monopulse radar front end operating in the X-Band is composed of 3 waveguide reception mixers which down convert sum, azimuth and elevation signal to IF and one SSB waveguide mixers which generate X-Band test signal. It is required the 4-way divider with low loss, equi amplitude and equiphase splitting the LO signal to provide the LO signal to each mixer consisting RF frontend. In this paper we designed and fabricated the 4-Way Wilkinson divider with waveguide transition to divide the LO signal into equi-amplitude and equi-phase. The fabricated Wilkinson divider have the insertion loss 6.8dB, VSWR 1.06~1.28, and phase balance maximum 4.5degree for each output ports.

Keywords : Wilkinson Divider/Combiner, Equal-split divider/combiner, Waveguide transition, Radar System

I. 서 론

모노펄스 레이더는 요격 레이더, 미사일 시커(seeker)

및 사격통제용 추적 레이더 등에서 자주 사용되는 펄스 도플러 레이더 시스템으로 안테나, 송신기, 모노펄스 수신기, 펄스 발생기, 전시장치 및 타이밍 회로 등으로 구성된다. 이러한 모노펄스 레이더는 표적으로부터 반사된 에코 신호를 이용하여 표적 탐지, 표적까지의 거리와 방향 등을 결정할 수 있으며, CW 신호를 이용하여 에코 신호의 도플러 주파수를 측정하여 이동 표적의 속도를 결정할 수 있다^[1].

* 정희원, 광운대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering,
Kwangwoon University)

※ 본 논문은 2009년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.

접수일자 : 2010년8월25일, 수정완료일: 2010년11월10일

수신된 에코 신호로부터 합(SUM) 신호와 두 개의 차(ΔAZ , ΔEL) 신호를 추출하여 표적에 대한 거리와 속도, 방위(Azimuth) 및 고도(Elevation) 정보를 추출하게 되는데, 표적추적이 진행되는 동안 합 신호는 최대를 유지하여야 하며, 차 신호는 최소를 유지하도록 안테나를 회전시키는 모노펄스 동작을 반복한다. 모노펄스 동작에 의해 추출된 SUM, ΔAZ 및 ΔEL 의 RF 신호는 하강 변환하기 위한 각 수신 믹서에 전달된다. 이때 하강 변환된 각각의 IF 신호는 동일한 특성을 가져야 하며, 이 조건을 만족시키기 위해서는 동기화된 LO 신호의 안정적인 공급이 각 믹서에 전달되어야 한다.

마이크로파와 밀리미터파 대역에서 사용되는 전력 분배기는 칩 레벨 분배기, 회로 레벨 분배기, Spatial 분배기 및 이들을 결합시킨 분배기를 포함하여 크게 4 가지로 분류된다. 이들 중 회로 레벨 분배기는 공진 분배기와 비공진 분배기로 나뉘며, 공진 분배기에는 도파관 Cavity coupling 방식을 들 수 있으며, 비 공진 분배기로는 Hybrid-coupled, conical waveguide, radial line, wilkinson type 분배기 등이 있다^[2-3].

일반적으로 하나의 입력 신호를 동일레벨과 동위상으로 분배하기 위해서는 비공진 분배기의 일종인 Equal-split N-Way 윌킨슨 전력 분배기를 사용해야 한다. Equal-split N-Way 윌킨슨 전력 분배기는 고효율 증폭기에서 트랜지스터를 병렬로 연결하여 출력 전력을 높이거나 다채널 무선 시스템에서 LO 신호를 동위상, 동일레벨로 분배하기 위한 용도로 사용된다. 병렬 연결된 소자나 모듈 중 하나라도 오작동 할 경우, 시스템 출력 전력은 감소하여 신호 특성이 열화 된다. 따라서 시스템 전력손실을 최소화하고 위상과 진폭 불균형을 최소화하기 위해 Equal-split N-Way 윌킨슨 전력 분배기 각 입/출력 단자는 충분한 격리도 (isolation)를 갖도록 대칭 구조로 설계해야 할 뿐만 아니라, 성능이 급격히 저하되거나 오동작을 반복하지 않도록 입/출력단에 임피던스 정합이 이루어져야 한다^[5-8].

본 논문에서는 모노펄스 레이더 프론트 엔드 시스템을 구성하는 합, 방위 및 고도신호를 추출 하기 위한 3 개 도파관 수신믹서와 시험신호를 발생하는 하나의 SSB(single side band) 도파관 믹서에 국부발진 신호를 동위상과 동일레벨로 저 손실 분배하기 위한 도파관 천이 구조를 갖는 모노펄스 레이더용 저 손실 4-Way 윌킨슨 분배기 설계 및 제작에 대해 연구하였다.

II. Equal-split 광대역 2-Way 윌킨슨 전력 분배기 설계

RF 전력 분배기의 가장 단순한 형태는 3 단자 망 구조의 T-접합 분배기로, 하나의 입력단자와 두 개의 출력 단자로 구성된다. 이러한 T-접합 분배기는 출력 단자간 양호한 격리도를 얻기가 어려우며, 손실이 없이 단자 정합을 하기가 용이하지 않다. 한편 저항성 분배기는 단자 정합이 가능하지만 선로에 구성된 저항 성분으로 인해 삽입손실이 상대적으로 크고 단자 간 격리도도 양호하지 않다.

비공진 분배기인 Hybrid-coupled 분배기는 간단한 설계기법과 광대역폭 및 단자간 높은 격리도 등의 장점을 갖지만, 삽입 손실이 주파수에 비례하여 증가하는 현상과 고정된 구조에 대해 주파수가 변화하면 주파수에 비례하는 위상 변화가 발생하여, 최고 동작 주파수에 제한을 가질 뿐 아니라, 전달 손실이 크게 되는 등의 단점이 있다^[4]. 따라서 광대역에서 전력 분배기의 신뢰도를 높이고 주파수 변화에 따른 위상 변화를 최소화하고 평면구조 제작이 용이하며 고조파 모드 발생을 방지하고 단자간 격리도를 증가시키기 위해 광대역 특성을 갖는 N-Way 윌킨슨 전력 분배기를 설계해야 한다.

윌킨슨이 제안한 그림 1의 N-Way 전력 분배기는 정합, 격리도, 대칭구조 및 저 손실이 요구되는 특성을 모두 지니고 있다^[5-8]. 이러한 N-Way 윌킨슨 전력 분배기는 양호한 격리도를 얻기 위해 연결되는 저항이 임체적으로 교차되므로 평면 구조로 제작하기가 어렵다.

그러나 2-Way 윌킨슨 전력 분배기의 경우 두 출력 단자 사이에 저항을 연결하면 평면구조로 제작이 가능할 뿐 만 아니라, 그림 2와 같이 2-Way 윌킨슨 전력

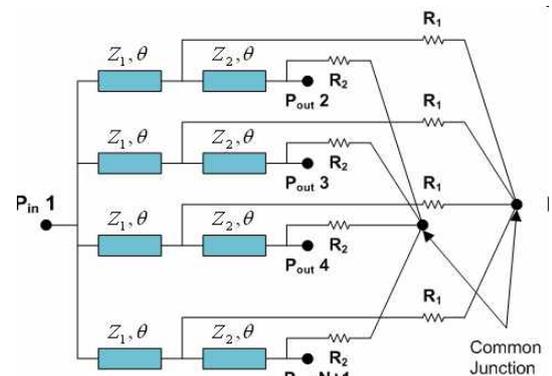


그림 1. N-Way 윌킨슨 분배기 구성도
Fig. 1. N-Way Wilkinson divider configuration.

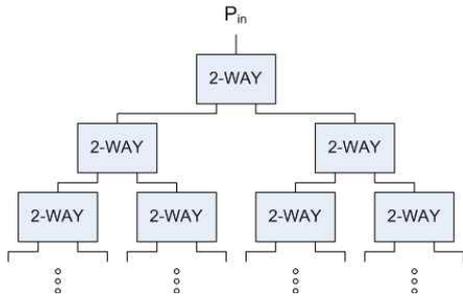


그림 2. 2-Way 분배기를 이용한 N-Way 윌킨슨 분배기 구성도

Fig. 2. N-Way Wilkinson divider using 2-Way divider.

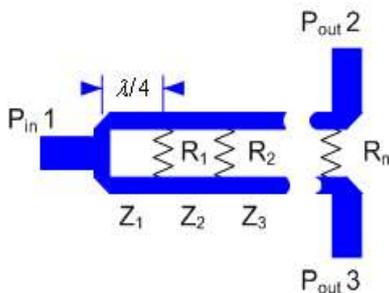


그림 3. 다단 윌킨슨 2-Way 분배기 구성도

Fig. 3. Multi-section Wilkinson 2-Way divider.

분배기를 여러 단으로 구성할 경우 N-Way 윌킨슨 전력 분배기 구성이 가능하다^[9].

따라서 광대역에서 전력 분배기의 신뢰도를 높이고 주파수 변화에 따른 위상 변화를 최소화하고 평면구조로 제작이 용이하며 고조파 모드 발생을 방지하고 단자간 격리도를 증가시키기 위해 다른 종류들에 비해 넓은 대역특성을 갖는 비공진형 다단 윌킨슨 2-Way 전력 분배기를 설계해야 한다.

윌킨슨 전력 분배기는 출력단자가 정합되었을 때 손실이 매우 적은 우수한 성능의 전력 분배기로^[5], 마이크로스트립 안테나 급전망이나 고효율 전력 증폭기에서 전력을 결합하거나 분배하기 위해 폭넓게 사용되고 있다.

Seymour Cohn은 그림 3과 같이 전력 분배기가 저항을 가진 $\lambda/4$ 파장의 선로를 다단 연결하였을 때 대역폭과 고립도가 10배 이상 증가함을 증명 하였다^[10]. 이때 대칭성을 위하여 연결된 $\lambda/4$ 임피던스는 $\lambda/4$ 트랜스포머이며, 입력단자 정합과 격리도에 중대한 역할을 하는 격리 R_1 과 R_2 는 다음 식을 이용하여 구한다^[11].

$$R_2 = \frac{2Z_1Z_2}{\sqrt{(Z_1 + Z_2)(Z_2 - Z_1 \cot^2 \phi)}} \quad (1)$$

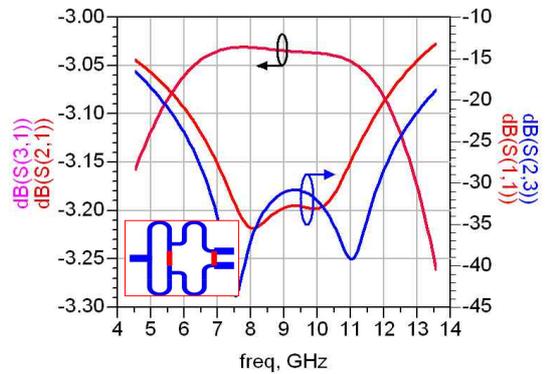


그림 4. 설계된 광대역 윌킨슨 2-Way 분배기와 전송특성(S_{21} , S_{31} , S_{11} , S_{23})

Fig. 4. Designed broadband Wilkinson 2-Way divider and transmission characteristics(S_{21} , S_{31} , S_{11} , S_{23}).

$$R_1 = \frac{2R_2(Z_1 + Z_2)}{R_2(Z_1 + Z_2) - 2Z_2} \quad (2)$$

$$\phi = 90^\circ \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{f_2/f_1 - 1}{f_2/f_1 + 1} \right) \right] \quad (3)$$

여기서, f_1 : 상측 주파수

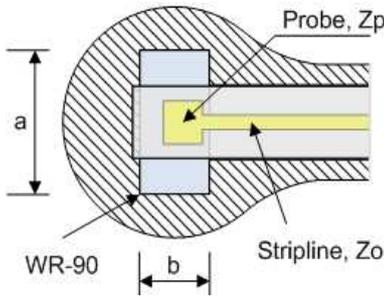
f_2 : 하측 주파수

시뮬레이션 결과 두 저항 R_1 , R_2 는 윌킨슨 분배기의 광대역 특성과 단자간 높은 격리도를 얻기 위해 반드시 필요하며, 저항 R_1 의 증가나 저항 R_2 의 감소는 전력 분배와 입/출력 단자 임피던스 정합에 거의 영향이 없으며, $\lambda/4$ 임피던스(Z_1 , Z_2)는 입/출력 단자 정합과 전력 결합에 큰 역할을 하였음을 알 수 있었다.

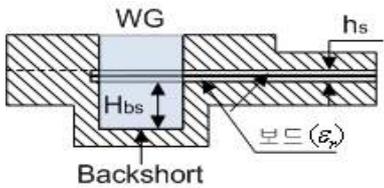
그림 4는 구현된 2-Way 윌킨슨 전력 분배기를 나타낸다. 각 단자는 50Ω 정합되어 있으며, 두 부분이 만나는 접합 점 근처에서의 분포 인덕턴스에 의한 효과를 제거하기 위해 T-접합을 사용하였다.

III. Waveguide-to-stripline 천이부 설계

WGT(Waveguide to stripline transition)는 프로브에 의해 스트립라인을 도파관으로 결합시켜 Launcher로 사용하기 위한 것^[12], 밀리미터파 대역에서 마이크로스트립 선로를 Stepped ridge-line 트랜스포머를 사용하여 도파관에 결합시키기 위한 구조 등이 있다^[13].



(a) 도파관 천이부 평면도
(a) Waveguide-to-stripline transition top view



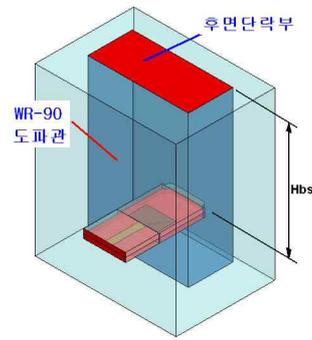
(b) 도파관 천이부 측면도
(b) Waveguide-to-stripline transition side view

그림 5. Waveguide-to-stripline 천이부 구조
Fig. 5. Waveguide-to-stripline transition structure.

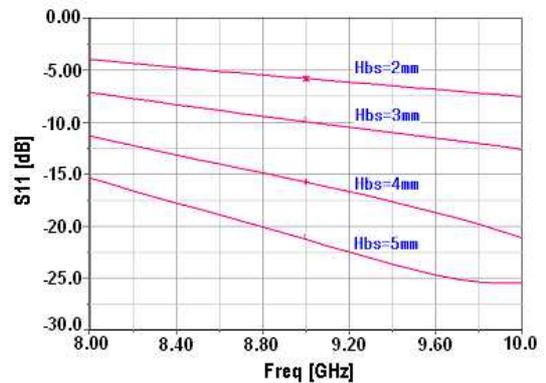
4-Way 월킨슨 전력 분배기 출력 단자는 동일한 전기적 특성과 기구 형상을 갖는 3 개 수신 도파관 믹서에 LO 신호를 공급하기 위해 X-Band에서 동작하는 WR-90 도파관 구조로 되어 있다. 따라서 스트립라인으로 설계된 광대역 4-Way 월킨슨 전력 분배기와 WR-90 도파관과의 두 개의 서로 다른 시스템을 결합시키기 위해 WGT를 통해 정합하여야 한다. 본 논문에서는 50Ω 스트립라인을 WR-90 도파관으로 결합시키기 위해 사용된 그림 5와 같은 천이부 구조를 이용하였다. 월킨슨 분배기 출력단자 전력을 도파관으로 결합시키기 위해 프로브(Z_p)를 사용하였으며, WGT의 최적 반사손실은 사용된 기판과 도파관 후면 단락부(Back-short) 사이의 거리 H_{bs} 를 조정하여 결정하였다.

그림 6(b)의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 WGT 반사 손실은 기판과 후면 단락부 간의 거리 H_{bs} 가 증가할 수 록 증가함을 알 수 있다. WGT의 최적 반사손실을 갖는 도파관 후면 단락부 높이 결정을 위해 후면부 높이 조종용 각막을 제작하였다. 튜닝 나사로 구성된 조종용 각막의 높이를 조정함으로써 반사손실 최적 값을 구하였으며, 이러한 시험과 2차에 걸친 기구 설계를 통해 결정된 가장 양호한 반사손실을 갖는 후면 단락부 높이는 약 5.6mm 였다.

X-Band에서 동작하는 50Ω 스트립라인을 WR-90 도



(a) Waveguide-to-stripline 천이부 시뮬레이션 구성도
(a) Simulation configuration for Waveguide-to-stripline transition



(b) 후면 단락부 높이 변화에 따른 반사 손실 변화
(b) Return loss variation according to back-short height

그림 6. Waveguide-to-stripline 천이부 시뮬레이션
Fig. 6. Simulation of Waveguide-to-stripline transition.

파관으로 결합시키는 WGT의 삽입손실은 0.1dB, 반사 손실은 사용 주파수 대역에서 18dB 이상이였다.

설계된 천이부의 전송손실(S_{21})은 크게 도파관 자체에서 발생한 손실과 천이부에서 발생한 손실 그리고 도파관 후면 단락부에서 발생한 손실 으로 구성되며, 여기에 월킨슨 전력 분배기 설계를 위해 사용된 기판의 loss tangent 0.0008와 기판에 형성된 구리의 전도율($\sigma = 5.8 \times 10^7 S/m$)로 인한 전도성 손실, 유전체 손실 및 방사 손실 등이 포함된다.

설계된 천이부의 전송손실(S_{21})은 크게 도파관 자체에서 발생한 손실과 천이부에서 발생한 손실 그리고 도파관 후면 단락부에서 발생한 손실 으로 구성되며, 여기에 월킨슨 전력 분배기 설계를 위해 사용된 기판의 loss tangent 0.0008과 기판에 형성된 구리의 전도율($\sigma = 5.8 \times 10^7 S/m$)로 인한 전도성 손실, 유전체 손실 및 방사 손실 등이 포함된다.

IV. 도파관 천이 결합된 4-Way 윌킨슨 전력 분배기 제작

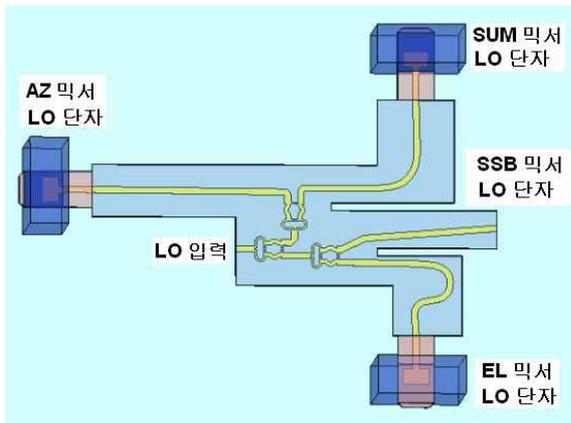
Equal-split 광대역 2-Way 윌킨슨 전력 분배기 설계 결과와 WGT 설계 결과를 토대로 하여 그림 7과 같이 도파관 천이 결합된 4-Way 윌킨슨 전력 분배기를 설계하였다.

그림 7은 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 시뮬레이션 한 결과로서, 설계된 광대역 4-Way 윌킨슨 전력 분배기 PCB는 앞서 최적 크기로 설계된 광대역 2-Way 윌킨슨 전력 분배기를 SUM, AZ, 및 EL 단자에서의 출력 위상이 동위상을 유지하고 삽입손실이 최소가 되도록 배치하였다.

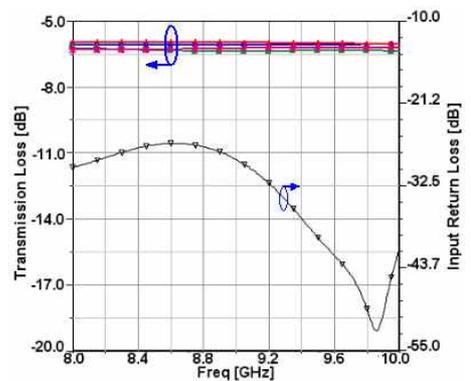
중앙에 LO 입력 단자를 구성하였으며, SSB 믹서용

LO 단자를 제외하고, SUM, AZ 및 EL 단자는 WR-90 도파관 구조로 구성하였다. 그림 7(c)에서 알 수 있듯이 LO 입력 단자 기준으로 세 도파관 단자에서의 출력 위상은 거의 동위상 특성을 가지며, 단자간 격리도는 20dB 이상으로 상호 간섭이 매우 적다. 따라서 4-Way 분배기의 이러한 높은 격리도는 고 이득을 갖는 믹서와 연동하였을 경우, 믹서 자체의 불완전한 격리도로 인한 신호 간섭이 완화될 수 있다.

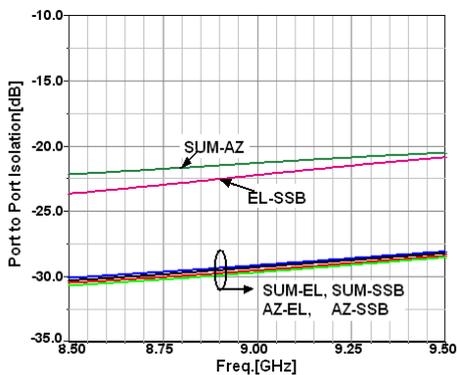
그림 8(a)는 전체 조립 사진으로 중앙에 구성된 SMA 컨넥터를 통해서 LO 신호가 입력되며, 분배된 신호는 각각 SUM 믹서, EL 믹서 및 AZ 믹서의 LO 입력 도파관에 연결이 가능하도록 WR-90 도파관으로 구성하였으며, SSB 믹서의 LO 입력 단자는 SMA 컨넥터를 사용하여 구성하였다.



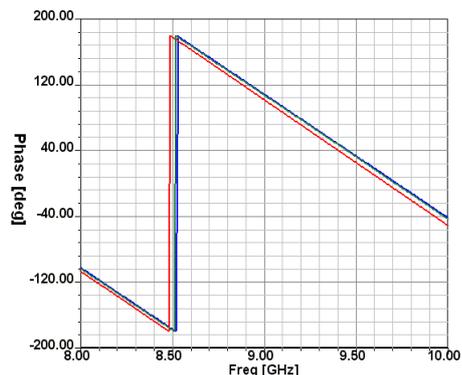
(a) 설계된 4-Way 윌킨슨 전력 분배기
(a) Designed 4-Way Wilkinson power divider



(b) 각 단자 삽입손실과 입력 반사손실
(b) Insertion loss for each port and input port return loss



(c) 출력 단자 간 격리도
(c) Port-to-port isolation

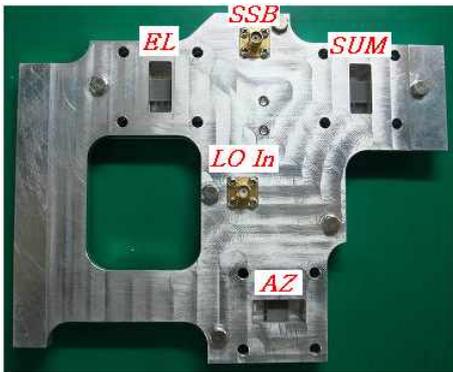


(d) 위상 (SUM, AZ, EL vs LO input)
(d) Phase (SUM, AZ, EL vs LO input)

그림 7. 설계된 4-Way 윌킨슨 분배기
Fig. 7. Designed 4-Way Wilkinson divider.

그림 8(b)는 4-Way 윌킨슨 전력 분배기의 분리된 사진으로 좌측은 WGT의 최적 반사손실을 고려하여 설계된 후면 단락부(back-short) 덮개 부분이며, 오른쪽은 기구에 안착된 스트립라인 PCB와 도파관 천이부를 보여준다. 그림 8(c)는 윌킨슨 분배기의 상부 PCB를 분리한 것으로 우측은 설계된 4-Way 윌킨슨 분배기가 기구에 안착된 것을 나타낸다.

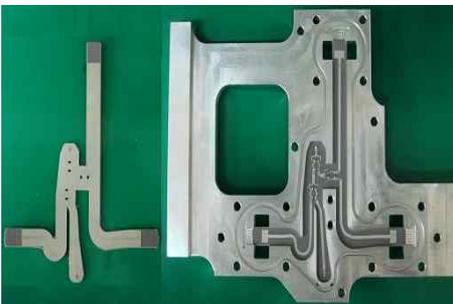
도파관 천이부는 표준 도파관 WR-90 크기로 설계하



(a) 전체 조립 사진과 단자 구성
(a) Photo of Assembled & port designation



(b) 후면 단락부 덮개 분리 사진
(b) Photo of separated back-short cover

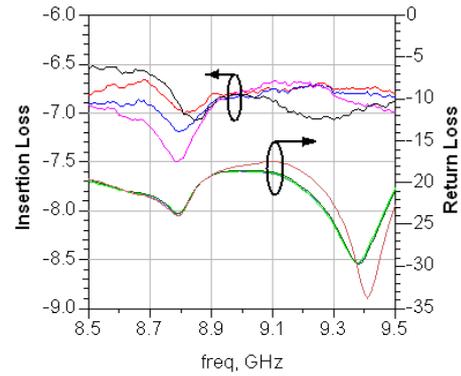


(c) 윌킨슨 분배기 PCB 분리
(c) Photo of separated Wilkinson divider

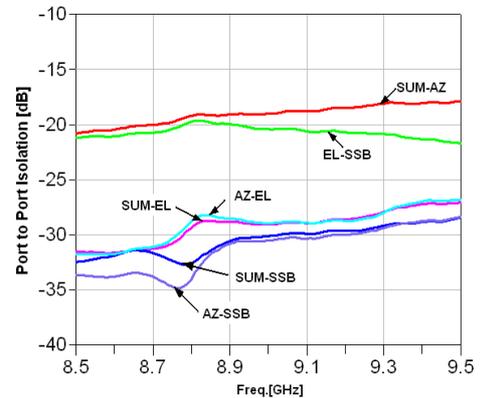
그림 8. 도파관 천이 결합된 4-Way 윌킨슨 분배기 제작 사진

Fig. 8. Photo of fabricated Waveguide transition 4-Way Wilkinson divider.

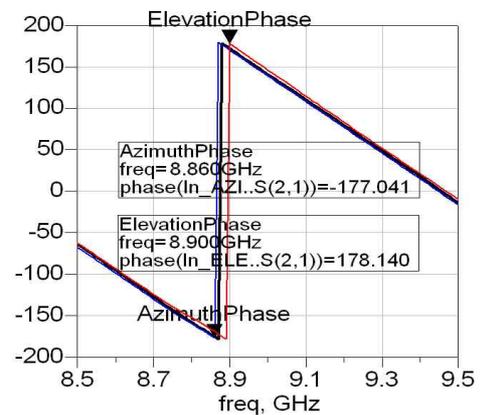
였다. 1차 제작에서 스트립라인에서 도파관으로의 임피던스 변환으로 인한 반사손실을 최적화 하기 위해 후면 단락부는 튜닝 나사를 사용하여 높이 조절이 가능하



(a) 삽입손실과 반사손실 측정결과
(a) Measured result of insertion & return loss



(b) 단자간 격리도 측정결과
(b) Measured result of port to port isolation



(c) 각 단자의 출력 위상 측정결과
(c) Measured result of phase for each port

그림 9. 도파관 천이 결합된 4-Way 윌킨슨 분배기 전송 특성 측정결과

Fig. 9. Measured result Waveguide transition 4-Way Wilkinson divider.

표 1. 설계 및 제작 결과 비교

Table 1. Comparison of designed and fabricated result.

삽입손실 [dB]			위상 [deg]		
파라메타	설계값	측정값	파라메타	설계값	측정값
S_{21}	-6.07	-6.77	$P(S_{21})$	108.8	141.2
S_{31}	-6.05	-6.82	$P(S_{31})$	102.01	139.1
S_{41}	-6.36	-6.77	$P(S_{41})$	107.75	146.4
S_{51}	-6.24	-6.81	$P(S_{51})$	-	-

반사손실 [dB]			격리도 [dB]		
파라메타	설계값	측정값	파라메타	설계값	측정값
S_{11}	-27.2	-18.0	S_{23}	-28.1	-19.0
S_{22}	-26.6	-18.3	S_{24}	-28.4	-29.0
S_{33}	-21.4	-24.5	S_{25}	-20.5	-30.2
S_{44}	-19.6	-30.8	S_{34}	-20.8	-28.9
S_{55}	-34.0	-24.8	S_{35}	-28.3	-30.6
			S_{45}	-28.5	-19.6

도록 제작하였다. 후면 단락부 튜닝 나사와 프로브 사이의 최적화된 간격은 네트워크 분석기를 통해 최소 반사손실이 얻어지는 부분을 확인하였으며, HFSS 시뮬레이터를 이용하여 튜닝 나사의 최적 위치를 결정하였다. 시뮬레이션 결과 최적화된 높이는 2차 기구 제작에 반영하였으며, 이때 반영된 후면 단락부 높이는 5.6mm로서 천이부 임피던스 변환으로 인한 반사손실을 최소화하였다.

제작된 도파관 천이 결합된 4-Way 윌킨슨 전력 분배기의 성능 측정은 애질런트사의 네트워크 분석기를 이용하여 수행하였다. 네트워크 분석기는 다 단자 회로망을 한 번에 측정하는 것이 불가능하므로 다 단자 회로망을 2 단자 회로망으로 구성하여 여러 번 측정하여야 한다. 측정하고자 하는 전송계수에 따라 두 개 단자만 네트워크 분석기에 연결하고 나머지 단자들은 50Ω으로 종단시키는 방법으로 삽입손실과 각 단자의 반사손실, 출력단자 간의 격리도 및 위상을 측정 하였다. 그림 9는 측정결과를 나타낸다.

표 1은 설계 결과와 제작결과를 비교한 것이다. 제작 결과, 삽입손실은 설계 결과와 약 0.4dB~0.77dB 정도 차이가 발생하였는데, 이는 측정에 사용된 WG-SMA 어댑터와 케이블 손실이 가중된 것으로 밝혀졌으며, 반사손실은 공진점 이동으로 인해 다소 차이가 발생하지

만 VSWR이 동작 대역인 X-Band 내에서 1.06~1.28 정도이며, 격리도의 경우 설계결과와 큰 차이 없이 전반적으로 양호한 특성을 가지고 있다. 또한 출력 단자들 간의 위상 오차는 설계결과와 제작결과 모두 4.5도 이내의 안정성을 가지고 있어, 각 단자들 사이의 이러한 작은 위상 차이는 안정적인 신호 복원이 가능함을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서는 도파관 천이 구조를 갖는 모노펄스 레이더용 저 손실 4-Way 윌킨슨 분배기를 설계/제작하였다. LO 전력을 4 방향으로 저 손실, 동일 레벨, 동 위상으로 분배하는 4-Way 분배기를 설계하기 위해, 먼저 Equal-split 2-Way 분배기를 설계하였다. 설계된 2-Way 분배기는 4-Way 윌킨슨 분배기 제작시 방사손실로 인한 삽입손실 저하를 최소화 하기 위해 스트립라인 구조로 설계하였으며, 도파관 구조로의 천이로 인한 손실을 최소화하기 위해 Waveguide-to-stripline 천이부를 설계하여 4-Way 윌킨슨 분배기와 결합하였다. 도파관 결합된 천이부와 후면 단락부 사이의 최적 위치는 튜닝 가능한 후면 단락부를 제작하여 최적 반사 손실을 갖는 높이와 시뮬레이션 결과를 비교하여 결정하였다.

제작된 분배기는 모노펄스 레이더용 RF 프론트 엔드에 적용하여 모의펄스 신호와 LO 신호 발생기를 통해 입력된 LO 신호와 합성되어 발생된 채널별 IF 신호를 비교하여 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 시스템 시험 결과, 전체적인 특성은 시스템 시뮬레이션과 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Merrill Skolnik, *Introduction to RADAR Systems 3rd Ed.*, McGraw-Hill, pp. 210-238, 2001.
- [2] 고영목, 이상웅, 나극환, 신철재, “초 광대역 Wilkinson Power Divider/Combiner 설계에 관한 연구”, *한국전자과학기술학회, 종합학술발표회 논문집*, pp. 113-116, 1991.
- [3] I. Stone, J. Goel, G. Gransky, “An 18GHz 8 Way Radial combiner”, *IEEE MTT conference*, E-5, pp.163-165, 1983.
- [4] Muraguchi. O, M.Y.Takeshi and Y. Naito, “Optimum design of 3-dB Branch-line couplers

using microstrip lines”, *IEEE Trans. MTT*, vol. MTT-31, Aug., pp. 674-678, 1983.

- [5] E. J. Wilkinson, “An N-Way Hybrid power divider”, *IRE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-8, pp. 116-118, Jan. 1960.
- [6] P. W. Peterson, “N-terminal power dividers”, *IRE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-9, pp. 571, Nov. 1961.
- [7] J. J. Taub and B. Fitzgerald, “A note on N-Way hybrid power dividers”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-12, pp. 260-261, Mar. 1964.
- [8] J. J. Taub and G. P. Kurpis, “A more general N-Way hybrid power divider”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-17, pp. 406-408, July. 1969.
- [9] J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas Vol. 2*, Peter Peregrinus Ltd., London, 1989.
- [10] Cohn. S.B, “A class of broadband three-port to TEM hybrids”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-16, no. 2, pp.110-118, Feb. 1968.
- [11] Harlan Howe. JR., *Stripline circuit design*, pp.102-109, Artech House, Dedham, Mass., 1974
- [12] R. H. Knerr, “A new type of waveguide-to-stripline transition,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-16, pp.192-194, Mar. 1968.
- [13] Hui-Wen Yao, Am Abdelmonem, Ji-Fuh Liang, and Kawthar A. Zaki, “Analysis and Design of Microstrip-to-Waveguide Transitions”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 42, no. 12, pp.2371-2380, Dec. 1994.
- [14] B. Glance, R. Trumbarulo, “A Waveguide to suspended stripline transition”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, Vol. MTT-21, pp 117-118, Feb. 1973.
- [15] Y.C. Shih, T.N. Ton, L.Q. Bui, “Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter wave applications”, *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 473-475, 1988.
- [16] Y.C. Leong, S. Weinreb, “Full band waveguide-to-microstrip probe transitions”, *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1435-1438, 1999.
- [17] W. Grabherr, W. Menzel, “A new transition from microstrip line to rectangular waveguide”, *22nd European Microwave Conf*, 1992, Helsinki, Finland, pp. 1170-1175.

 저 자 소 개



고 영 목(학생회원)
1991년 2월 광운대학교
전자공학과 학사 졸업
1993년 2월 광운대학교
전자공학과 석사 졸업
2001년~2006년 단암시스템즈
2006년~현재 (주)디에스티

<주 관심분야 : Radar System, UWB 시스템, 수
치 해석>



나 극 환(정회원)
1981년 7월 프랑스 ENSEEIHT
국립종합과학대학
(공학박사)
1981년 9월~1986년 12월
광운대학교 전자공학과
부교수

1987년 1월~1988년 1월 미국 COS MST 연구소
직원연구원

1988년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 교수
<주 관심분야 : RF 및 마이크로파 통신시스템, 밀
리미터파 통신 시스템, 수치 해석>