

**밀리미터파대역에서의 마이크로스트립-슬롯라인 변환을 이용한
Power Divider의 해석 및 설계**

정철용* · 정진호** · 김준연* · 천창을* · 권영우**
서울시립대학교 전자공학과* · 서울대학교 전기공학부**

**The Analysis and Design Power Divider Using
the Microstrip-Slotline Transition in Millimeter-Wave Band**

Chulyong Jeong* · Jinho Jeong** · Junyeon Kim* · Changyul Cheon* · Youngwoo Kwon**
Dept. of Electronics Engineering, Univ. of Seoul*
School of Electrical Engineering, Seoul National Univ.**

Abstract - In this paper, an analysis of microstrip-slotline transition is performed using a 3D vector Finite Element Method(FEM). On the base of the analysis, power divider/combiner is designed. The optimal structure for equal power division in Ka band is also proposed.

1. 서 론

최근 통신시장의 급속한 발전에 따라 정보량의 폭주로 인하여 마이크로파대역은 이미 대역폭의 한계점에 이르고 있으며, 이에 따라 새로운 주파수 자원의 개발이 시급하다고 하겠다. 밀리미터파 회로 기술 중 현재 전세계적으로 가장 수요가 높고 개발이 힘들며 부가가치가 높은 핵심 부분은 전력 증폭기(power amplifier) 기술이다. 밀리미터파 대역에서는 공기중 감쇄현상이 심하고 능동 소자의 이득도 많이 떨어진다. 따라서, 신뢰성있는 신호 전송을 위하여 대출력 전력 증폭기가 필수적이 된다. 하지만 이러한 소자는 구조적으로 복잡하여 이론적인 접근만으로는 해석이 곤란하다.

따라서 본 연구에서 이렇게 복잡한 구조의 해석을 하기 위해 이론적인 접근과 함께 수치기법을 이용한 해석을 하고자 한다. 본 연구에서 해석하고자 하는 소자들은 3차원적으로 대형구조를 갖지 않으므로 임의의 구조를 갖는 소자의 해석을 가능하게 하는 수치기법인 벡터유한요소법(Vector Finite Element Method)을 채용하였다.[1] 밀리미터파 주파수대역에서 소자들간의 연결에 사용될 수 있는 전송선로, 즉 slotline-microstripline 변환을 효과적으로 해석하는 수치기법에 대한 연구와 연구된 수치기법을 이용한 프로그램 개발을 통해 전력 분배기(power divider)를 설계하고자 한다.

2. 본 론

2.1 비등방성 흡수체

본 논문에서 사용한 유한요소법은 경계내부에 한정된 영역만을 취급해야 하는 단점이 있어, 경계가 전기적으로 명확히 정의 되지 않은 경계에 대한 처리에 주의하여야 한다. 정합경계의 경우, 전파상수를 이용하여 정합조건을 충족시킬 수 있다. 그러나 본 연구에서 해석하고자 하는 모델의 경우 출력경계에 대한 전파상수를 알 수 없기 때문에 이를 알아내기 위해선 고유값문제를 풀어야 하는 번거러움이 있다. 하지만 본 연구에서는 정합경계

처리를 위해, 경계에서 모든 파를 흡수할 수 있는 가상 매질인 비등방성흡수체를 사용하여 정합된 도파관과 마이크로스트립라인에 대한 경계를 효율적으로 처리하였다.[2] 흡수체의 정합성능을 평가하기 위하여 그림 1과 같이 도파관(WR-28)안에 슬롯라인을 넣고 출력단에 두께 t를 갖는 비등방성 흡수체를 삽입한 구조를 해석하였다. 그림 2는 감쇠 상수 값을 변화하여 최적의 흡수체를 찾아 f=30GHz일 때의 E필드분포를 보인 그림이다.

흡수체를 이용한 정합의 결과는 Ka band 영역에서 S_{11} 이 -12.2dB로서 거의 반사가 없음을 알 수 있었다. 일반적으로 유한요소법의 정합에는 전파상수를 이용한 정합을 사용하지만, 전파상수를 이용한 방법은 전파상수를 미리 구해야하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 흡수체를 이용하여 정합을 시킴으로써 전파상수를 모르는 구조에 대해서도 해석을 가능하게 하였다.

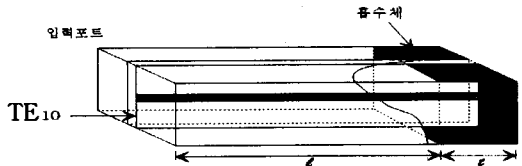


그림 1 Waveguide-slotline 흡수체 정합



그림 2 슬롯라인의 E-field 분포

2.2 실제모델의 적용

그림 3에 본 전력 결합기 설계를 위한 단일 slotline-microstrip transition 구조의 layout 이다. 이 기판은 도파관의 E-plane 중앙에 삽입되어 있으며 도파관에서 입사되는 E-field가 slotline으로 변환된다. 기판 뒷면에 slotline이 프린트되어 있는데, slotline의 gap이 감소되면서 임피던스 역시 감소하게 된다. slotline으로 변환이 끝난 후에 기판 앞면에 프린트되어 있는 마이크로스트립으로 변환된다. 여기서 slotline-microstrip transition은 널리 알려져 있는 구조로서 slotline의 short에서 $\lambda/4$ 되는 지점(그림 3의 l_0)에 마이크로스트립이 놓이게 된다. 이

는 이 지점에서 마그네틱 필드가 최대가 되기 때문이다. 마이크로스트립은 radial open stub를 사용하여 slotline과 만나는 지점에서 short가 되게 한다. 이 역시 short가 되는 점에서 마그네틱 필드가 최대가 되기 때문이다. 이렇듯 slotline-microstrip transition은 마그네틱 커플링에 의해 이루어진다. 여기서, serrated choke는 도파관과 기판 뒷면과의 전기적 short를 가능하게 한다.[3]

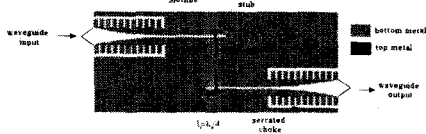


그림 3. slotline-microstrip transition

변환구조가 하나가 있는 경우의 최적 설계가 끝난후 전력 결합기를 설계해야 한다. 새로운 구조의 전력 결합기는 이러한 변환구조를 여러 개 배열하여 전력을 분배한다. 본 논문에선 그림 4에서와 같이 2개의 배열을 갖는 구조를 나타내었다. 이번 연구에서는 slotline 임피던스가 일정하고 microstrip line의 임피던스도 같은 값으로 두었다.

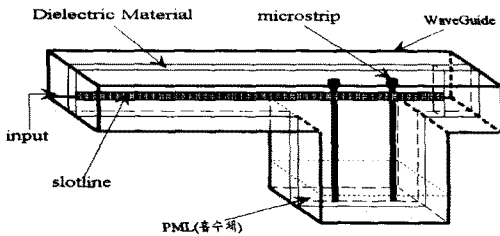


그림 4 Microstrip-slotline transition (Microstrip 사이의 거리: $\lambda_s/2$)

먼저 사용 주파수 대역은 Ka-band(26.5-40GHz)로서 밀리미터파 대역에 해당한다. 그리고, 사용한 기판유전율이 2.2인 10mil-RT Duroid 5880이다. 그림 4와 같이 slot의 폭을 0.1mm 그리고 microstripline의 폭을 0.1mm로 하고 stripline사이의 거리를 $\lambda_s/2$ 로 떨어트린 변환구조가 back-to-back으로 연결되어 있는 구조로 해석 및 제작하였으며 도파관 면에서 삽입손실 및 반사손실을 측정하였다. 그림 4를 해석한 결과 그림 5와 같은 결과를 얻었다. 해석에서 얻은 Data에서 26~34GHz 까지 약 -0.4dB~-1.8dB 사이로 비교적 넓은 범위에서 insertion loss가 작은 좋은 특성을 얻었다. 측정치에서도 역시 거의 같은 결과를 얻어 해석치와 측정치가 잘 맞음을 알 수 있었다. 하지만 그림 7에서와 같이 equal power에서는 26~32GHz 대역에서 두 port사이의 power의 차이가 -0.4dB~-1.0dB의 차이가 있어 equal power를 얻지는 못하였다. 하지만 비교적 equal power를 얻을 수 있었다. 하지만 측정치가 없어서 해석한 결과의 정확성을 알 수는 없었지만 전체 power를 보아 비교적 잘 맞으리라 사료된다. 그림 6은 그림 4의 변환구조를 벡터 유한요소법을 적용하여 얻은 필드분포이다.

해석한 결과에 의해 equal power가 가기 위해선 microstripline간의 간격이 $\lambda_s/2$ 일 때 동일 전력이 분배되

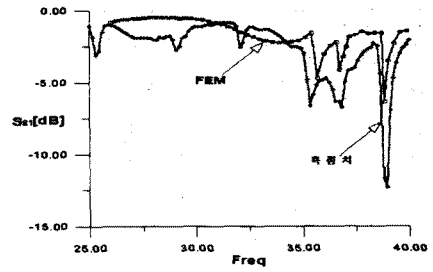


그림 5 FEM과 측정치의 비교 그래프



그림 6 도파관 E-Plane에서의 $|E|$ 의 분포 f=30GHz

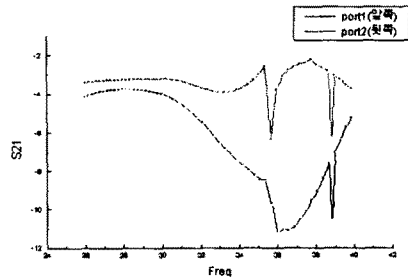


그림 7 각 port의 Insertion Loss

므로 만일 4-way 전력결합을 할 때 상당히 긴 slotline이 필요한 문제점이 발생한다. 따라서 slotline의 임피던스를 바꾸어 가면서 equal power가 가는 구조를 생각해야 한다. 그림 8은 각각의 microstripline으로 equal power가 분배되는 구조이다. 이러한 구조에서 각각의 slotline의 임피던스가 다르며 따라서 임피던스 비도 달라진다.[4] 따라서 달라진 임피던스 비를 slotline과 microstripline사이의 transition각도인 θ 를 바꾸어 줌으로써 보상해 줄 수 있다. 이러한 전력 분배구조는 각각의 slotline의 길이 l_s 에 관계없이 같은 전력 분배가 가능한 구조이다.

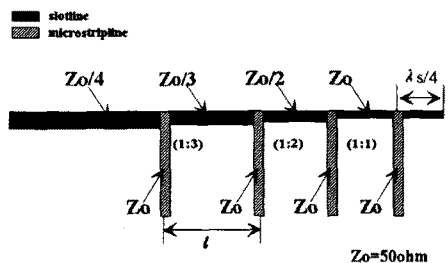


그림 8 equal power의 임피던스 매칭관계

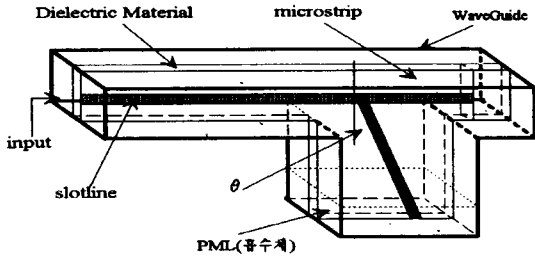


그림 9 Microstrip-slotline transition 45° 구조

그림 9는 변환구조가 하나인 형상으로서 slotline의 폭이 0.7844mm이고 microstrip의 폭이 0.371545mm인 임피던스비가 2.5:1이며 transition 각도 θ 인 구조이다. Transition 각도 θ 가 변할 때 주파수에 대한 특성을 해석하여 보았다. 다음 그래프들은 θ 에 대한 주파수 특성을 나타낸 그래프이다. 해석 결과 transition 각도가 45°

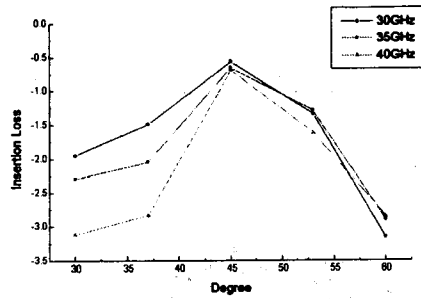


그림 13 각 주파수에서의 Insertion Loss 비교 그래프

일 때 임피던스가 매칭되어 Insertion Loss가 최소가 됨을 알 수 있었다. 따라서 transition 각도에 의해 소자의 비대칭을 해결할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 새로운 전력 결합기를 설계하기 위하여 먼저 Microstrip-slotline transition에 대한 수치해석 및 설계를 제시하였다. 수치해석을 통한 여러 가지 형상을 가지고 해석한 결과 Microstrip-slotline의 임피던스의 비가 1에 가까워야만 광대역 저손실의 특성을 얻을 수 있음을 알았다. 또한 equal power가 되기 위해선 마이크로스트립간의 간격이 $\lambda_g/2$ 일 때 동일 전력이 분배되므로 만일 4-way 전력결합을 할 때 상당히 긴 슬롯라인이 필요한 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 본 논문에서 수치해석을 통해 설계된 Microstrip-slotline transition 구조는 실험측정 결과 Ka-Band에서 잘 맞는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Jin, The Finite Element Method In Electromagnetics, John Wiley & Sons, New York, 1993
- [2] 장영춘, 장성훈, 천창을, "비등방성 흡수체를 이용한 유한요소법 경계정합", 대한전기학회·창립50주년 1997년도 하계학술대회는문집, E권, 1883-1886, 1997
- [3] BERND SCHUPPERT, "Microstrip/Slotline Transition Modeling and Experimental Investigation", IEEE Microwave Theory Tech., vol MTT-36, pp.1272-1282, 1988
- [4] Antar, Y.M.M., et al., "Microstrip-Slotline Transition Using the Spectral Domain Technique", IEEE Trans MTT-40, pp.515-523, 1992

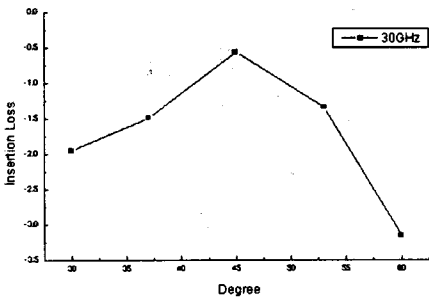


그림 10 30GHz에서의 각도에 따른 Insertion Loss

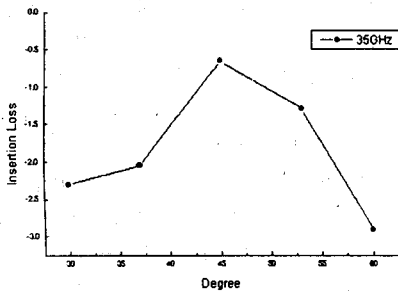


그림 11 35GHz에서의 각도에 따른 Insertion Loss

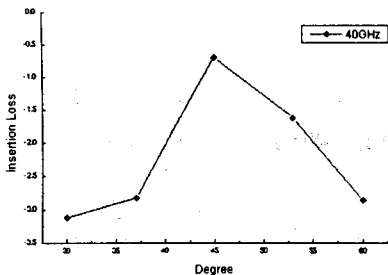


그림 12 40GHz에서의 각도에 따른 Insertion Loss