

10 GHz 이하에서 칩 저항이 필요 없는 수정된 형태의 평면형 전력 분배/결합기

한용인^{*}, 김인석

경희대학교 전자공학과

전화 : (031) 201-2916 / Fax : (031) 202-7674

A Modified Geometry for Planar Power Divider/Combiners without Chip Resistor below 10 GHz

Yong-In Han^{*}, Ihn S. Kim

Department of Radio Engineering, Kyunghee University

E-mail : intunix@khu.ac.kr

ABSTRACT

본 논문에서는 10 GHz 이하에서 하나의 입력과 다수의 출력을 가지는 [10]에서 제시한 Taper형의 평면구조의 전력 분배/결합기의 구조를 수정하여 출력단의 폭이 다시 좁아지는 구조를 제안한다. 입력 정합 그리고 각 출력 단에서 출력 신호의 균형과 위상의 선형성을 위해 회로의 중앙에 하나의 원을 에칭 제거한 구조를 채택하여 2 GHz에서 개발한 전력 분배/결합구조를 [10]의 구조와 반사특성과 위상특성을 비교 분석하였다.

1. 서론

전력 분배/결합기는 임의의 전력비로 RF 전력을 분배하거나, 또는 결합하는 회로로써 송·수신 안테나 시스템, 평형 증폭기, 평형 혼합기 등 마이크로파 회로와 시스템을 구성하는 필수소자로 매우 광범위한 응용범위를 가지고 있다. 특히 대부분의 마이크로파 시스템에 채택되는 전력 증폭기는 높은 효율성과 출력이 요구되어서 회로의 크기와 효율을 중요시한다. 이러한 측면에서 전력 분배/결합기의 다중 출력 구조는 전력 증폭기의 중요한 부분으로 인식되었다 [1].

다중 출력을 가지는 Wilkinson 전력 분배/결합기는 가장 많이 이용되는 전력 분배/결합 회로로써 1/4 파장 전송선로와 그 선로간에 병렬 저항의 삽입을 필요로 한다[2],[3]. 저항삽입은 평면 회로 제작을 어렵게 하는 부분으로 저항 삽입이 없는 전력 분배/결합기 개발을 위해서 원형 마이크로 스트립 공진 구조를 이용하여 다중 출력을 가지는 전력 분배 결합기가 발표되었다[4],[5]. 이러한 회로는 입력 구조가

동축 급전 구조로 되어 있어서 MMIC 형태로의 구현이 어려워서 그후 Abouzahra와 Gupta에 의해 제안된 방사형의 구조는 칩 저항이 필요 없는 평면형 구조로 개발되었지만 출력단자가 방사형으로 퍼지는 문제점을 가지고 있었다[6],[7].

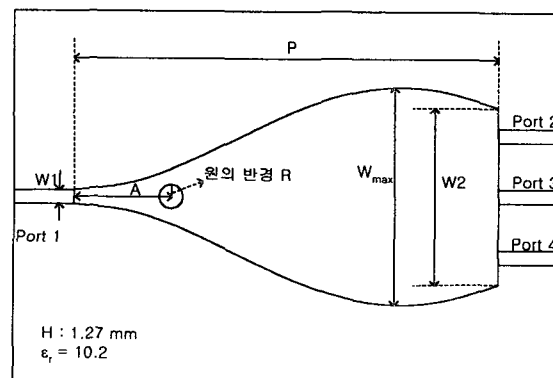


그림 1 칩 저항이 필요 없는 새로운 구조로 제안하는 1:3 전력 분배/결합기 회로

대부분의 M(H)MIC 회로의 구성은 회로의 크기와 효율적인 측면에서 일반적으로 병렬로 구성이 되는데 반해서 방사형으로 회로 분기가 퍼져 나가면 회로 밀집도가 저하되는 단점을 포함하게 되어 출력 분기회로가 방사형으로 퍼져 나가는 단점을 극복하고자 Taper 곡선으로 외형을 형성하고, 회로 표면의 일부분을 원형이나 타원형태로 에칭 제거하여 전기적인 길이를 같게 하여 입·출력이 동일한 배열을 가지는 전력 분배/결합기가 Q-C Sun, K. W. Eccleston, S. P. Yeo[8] 및 Ke Wu와 그의 동료들 [9],[10]에 의해 발표되었다.

그러나 Taper 곡선을 이용한 위의 구조는 마이크로 스트립 원판 공진 특성을 가지기 위해서 입력 라인인 50 Ohm 전송선로에서 출력으로 갈수록 넓어지는 구조를 가지며 종단에서 50 Ohm의 다중 출력 전송선로와 만나게 된다. 최적의 입력 반사특성을 얻기 위해서 10 GHz 이상의 주파수에서 Taper 형태의 분배/결합 회로 최종 출력 단의 물리적인 길이는 작아지기 때문에 주파수에 무관한 50 Ohm 출력 라인과의 불연속면이 작지만 10 GHz 이하의 주파수에서는 회로의 종단의 물리적인 크기는 커진다. 그래서 회로의 종단과 출력 라인과의 불연속이 크게 된다. 그래서 본 연구에서는 이러한 회로 종단과 출력과의 불연속이 커지는 구조적인 단점을 극복하기 위하여 출력 전송선로와의 Taper 전송선로와 불연속면을 적게 하기 위해 그림 1과 같이 Taper 전송선로의 종단이 좁아지는 형태를 가지는 구조를 제안하고, 이를 토대로 하나의 입력과 두 개와 세 개의 동일한 병렬 배열의 출력을 가지는 전력 분배/결합기를 개발하였다. 또한 [10]에서 제시한 방법으로 에칭 제거원이 있을 경우와 없을 경우에 대하여 HFSS를 이용한 시뮬레이션과 측정을 하여 [10]의 경우와 비교 분석하였다.

2. 마이크로스트립 원판 공진기

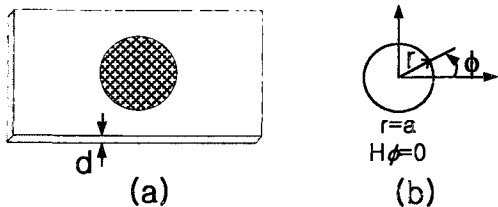


그림 2 마이크로스트립 원판 공진기

본 논문에서 제안한 Taper 형 전력 결합/분배 구조는 방사형에 기초한 공진 구조를 변형한 구조이므로 원판 마이크로스트립 공진 구조를 기본으로 해석

한다. 이러한 공진 구조는 그림 2와 같이 r=a인 경계에서 $\hat{n} \times \vec{H} = 0$ 인 완전 개방회로(Magnetic wall) 조건으로 근사하여 해석을 한다[11],[12]. 그래서 마이크로스트립 원형판 공진기의 공진 주파수는

$$2\pi f_R r (\epsilon_r)^{1/2} / c_0 = a_{nm} \tag{1}$$

와 같다[2]. 여기서 f_R 은 공진 주파수, c_0 는 공기중의 전파속도이며, a_{nm} 은 n차 Bessel 함수의 근이다. 이때 정확한 해석을 위해서는 경계에서 누설되는 장을 고려해야 하는데, 이러한 누설장을 고려하면 물리적인 회로의 크기보다 자계벽의 경계가 커지게 된다. 그래서 유효 반지름 a_e 는 아래와 같이 주어진다[13].

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2d}{\pi a} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2d} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2} \tag{2}$$

여기서 d는 마이크로스트립의 두께이다.

3. 전력 분배/결합기의 설계

그림 1에서 보여준 전력 분배/결합기는 하나의 입력과 3개의 출력을 가지는 구조로써, 높은 임피던스의 입력측과 낮은 임피던스의 출력측 사이의 불연속을 최소화하여 최소의 반사손실과 삽입손실을 가지는 싸인함수적인 곡선으로 [10]에서 입력과 출력 사이의 관계를 (3)과 같이 제시하였다.

$$w_2 = w_1 \left(1 - q \cos \left(\frac{\pi x}{P} \right) \right) \tag{3}$$

여기서 q는 그림 1에서 보여주는 w2를 결정하는 상수이고, P는 Taper 회로의 가로 방향의 길이를 나타낸다. Taper 회로의 최대 폭인 W_{max} 를 회로의 중앙에 위치하게 하기 위해서 P의 값을 전체회로의 길이보다 작게 잡으면 출력의 폭이 다시 좁아지는 형태의 회로를 구성하게 된다.

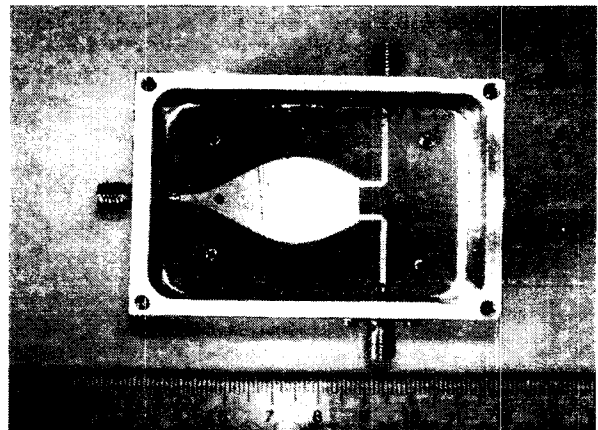


그림 3 하나의 에칭 제거원을 가지는 1:2 전력 분배/결합기 회로 사진

본 논문의 전력 분배/결합 회로는 유전율(ϵ_r)이 10.2이고, 높이(h)는 1.27 mm인 기판을 사용하여 제작하였다. 회로의 입력과 출력은 특성 임피던스가 50 Ω 인 전송선로를 연결하였다.

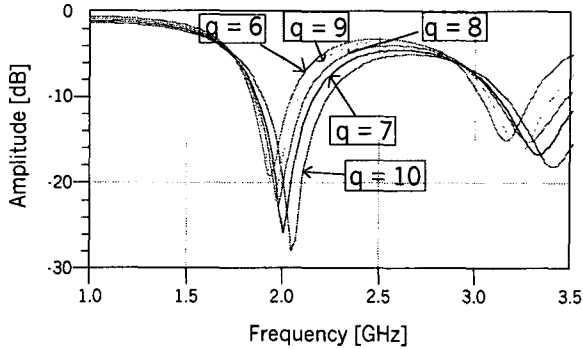


그림 4 1:2 전력 분배/결합 구조에서 식 (3)의 q의 값에 따른 공진 주파수와 입력 반사특성

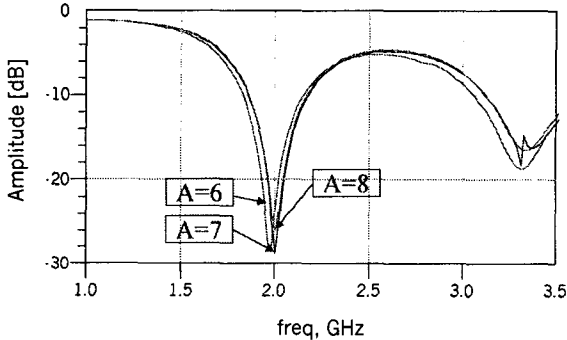


그림 5 1:2 전력 분배/결합기의 에칭제거원의 위치에 따른 공진 주파수와 입력 반사특성

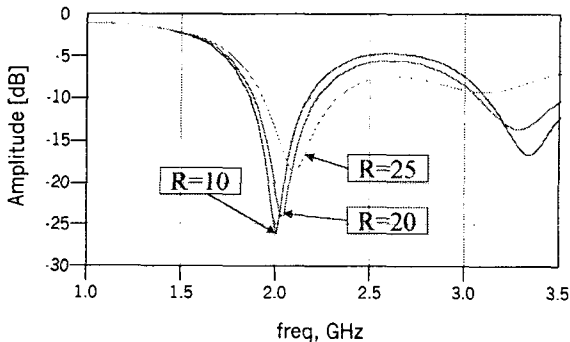


그림 6 1:2 전력 분배/결합기의 에칭제거원의 크기에 따른 공진 주파수와 입력 반사 특성

그림 4는 1:2 전력 분배/결합기의 회로를 식 (3)에서 제시한 변수 q의 값의 변화에 따른 공진 주파수와 삽입손실특성을 보여준다. q의 값이 커짐에 따라 Wmax와 W2의 값은 커지게 되어 Taper 회로는 마이크로스트립 원형 공진구조에 가까워져 입력 반사 특성이 점점 감소하는 특성을 얻을 수 있다. 그림 5

는 그림 1에서 제시한 전력 분배/결합기의 변수가 P=23 mm, q=7 mm, r(원의 반경)=1 mm 일때 에칭 제거원의 위치 A를 6, 7, 8 mm 로 하였을 때 각각의 중심 주파수와 입력 반사(S11) 특성을 나타내고 있다. 에칭 제거원의 위치에 의한 공진 주파수는 약간의 변화가 나타남을 알 수 있다. 그림 6에서는 에칭 제거원의 반경 R에 대한 중심주파수와 삽입손실특성은 원의 크기가 증가할수록 중심 주파수는 높아지고 삽입반사손실은 증가하는 특성을 나타낸다.

4. 전력 분배/결합기의 측정

그림 3에서 보이는 것과 같은 1:2 분배 회로의 물리적인 크기는 앞에서 제시한 회로의 파라미터들을 분석하여 2 GHz에서 최적의 특성을 보이는 구조로, W1= 1.16 mm, W2=8.986 mm이며 회로의 길이 P=35 mm이다. 또한 입력 반사 특성을 개선하기 위해 회로의 앞단에 그림 3과 같이 원의 반경이 1 mm인 원을 에칭 제거하여 입력 반사 특성을 개선하였다.

그림 7과 그림 8에서 에칭 제거원이 없는 경우와 있는 경우를 비교하였다. 에칭 제거원이 없을 경우, 반사손실 특성을 20 dB로 기준 하였을 때, 중심 주파수는 1.98 GHz이며, 대역폭은 약 80 MHz이었는데, 그림 3과 같이 반경이 1 mm인 에칭 제거원을 두었을 경우 중심주파수는 2.02 GHz로 이동하였으며, 대역폭은 약 100 MHz로 증가함을 알 수 있었다. 위의 측정결과와 시뮬레이션결과를 비교하여 보면 시뮬레이션 결과와 측정결과가 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

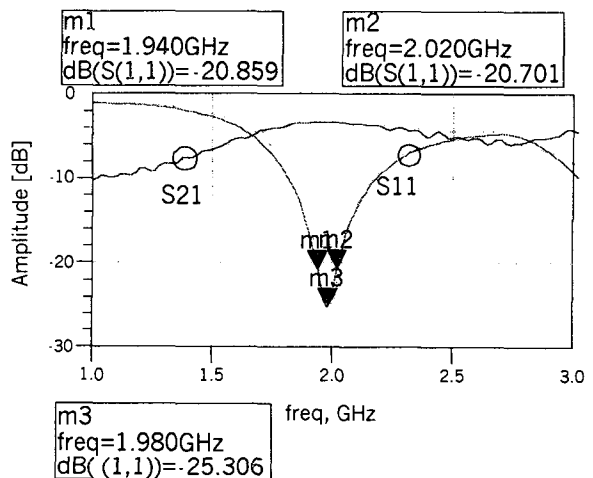


그림 7 에칭 제거원이 없는 1:2 전력 분배/결합구조의 시뮬레이션 결과와 측정결과(---시뮬레이션, — 측정결과)

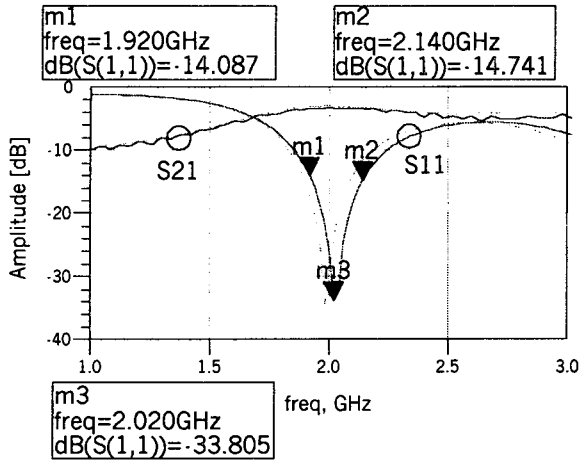


그림 8 에칭 제거원이 있는 1:2 전력 분배/결합구조의 시뮬레이션 결과와 측정결과(---시뮬레이션, — 측정결과)

그림 11에서는 하나의 에칭 제거원을 가지는 1:3 전력 분배/결합 회로의 실제 사진을 나타낸다. 1:3 전력 분배/결합 회로도 위와 같은 마이크로 스트립 구조로 제작하였다. 회로의 물리적인 크기는 $W1=1.16$ mm, $W2=14.56$ mm이며, 각 출력 단자간의 거리는 5 mm로 하였다. 그림 9과 10에서는 1:3 전력 분배/결합 회로에서 에칭 제거원이 있을 때와 없을 때를 비교하였다. 그림 6에서 보여준 것과 같이 에칭 제거원이 없을 때 중심주파수는 1.98 GHz이며 대역폭은 반사손실 20 dB를 기준으로 보았을 때 약 80 MHz 이었는데, 회로에 에칭 제거원이 있는 그림 7의 특성을 보면 중심 주파수는 1:2 분배/결합기의 경우와 같이 2.04 GHz로 이동하였으며 대역폭은 약 120 MHz로 증가됨을 볼 수 있었다.

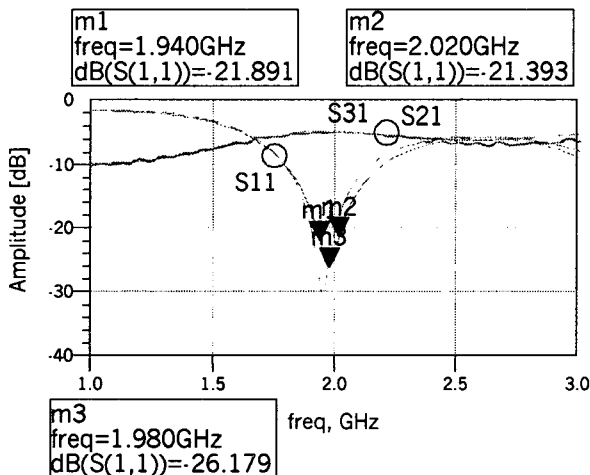


그림 9 에칭 제거원이 없는 1:3 전력 분배/결합구조의 시뮬레이션 결과와 측정결과(---시뮬레이션, — 측정결과)

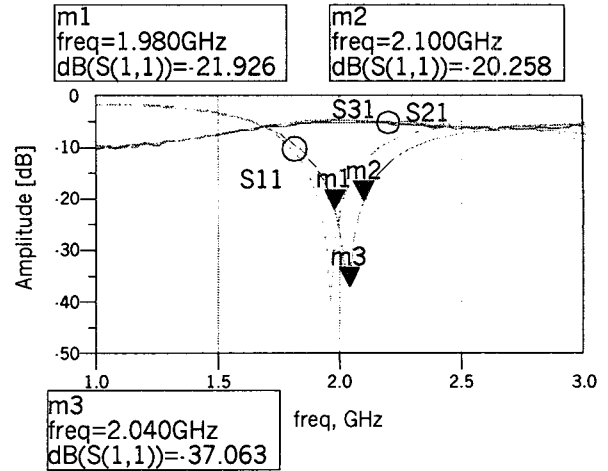


그림 10 에칭 제거원이 있는 1:3 전력 분배/결합구조의 시뮬레이션 결과와 측정결과(---시뮬레이션, — 측정결과)

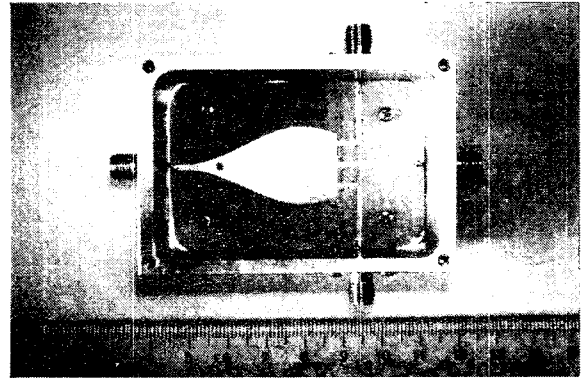


그림 11 하나의 에칭 제거원을 가지는 1:3 전력 결합/분배 회로 사진

에칭 제거원이 회로에 미치는 영향을 분석하면 입력 반사 특성은 좋아지며 회로의 대역폭의 증가와 중심주파수가 높아지는 것을 알 수 있었다. 위상특성을 보면 그림 13과 그림 14에서 보여준 것과 같이 에칭 제거원이 있음으로써 1:3 전력 분배/결합기의 경우 각 출력 단자간 동일한 위상을 가지게 됨을 알 수 있다.

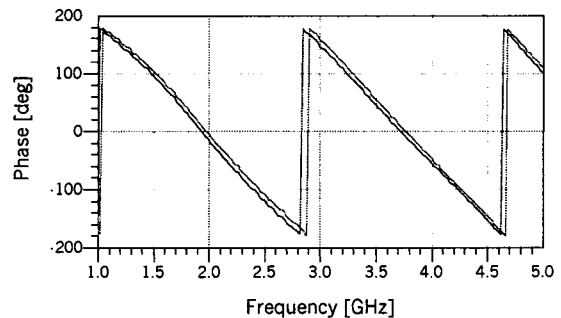


그림 12 에칭 제거원이 없는 경우 1:3 전력 분배/결합 회로의 출력포트간 위상차(측정결과)

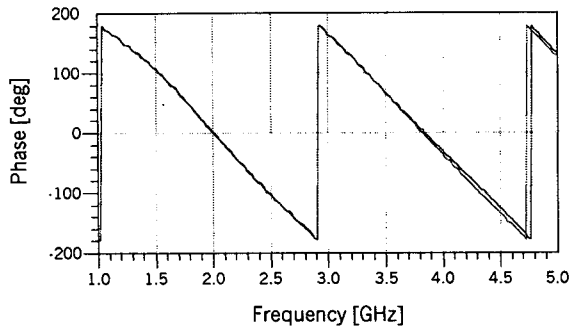


그림 13 에칭 제거원이 있을 경우 1:3 전력 분배/결합 회로의 출력포트간 위상차(측정결과)

5. 결론

본 논문에서는 입력과 출력사이를 Taper 곡선의 형태를 이용하여 입·출력의 배열이 동일한 형태의 1:2와 1:3 전력 분배/결합기를 HFSS 시뮬레이션과 측정을 이용하여 설계·분석하였다. 각 출력간의 전기적인 길이가 다르고, 회로의 입력 반사 특성을 개선하기 위해 [10]이 제시한 회로 구조식을 변경 적용하여 종단이 다시 좁아지는 구조를 제안하였다. 또한 [10]의 경우와 같이 회로의 일부에 원형구조의 구조물을 에칭 제거하여 전기적인 길이를 맞추었다. 회로에 에칭 제거원이 있을 경우 대역폭의 증가와 입력 반사특성이 좋아지며, 각 출력포트간 위상이 동일하게 나오는 결과를 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S.P. Marsh, "Power Splitting and Combining Techniques on MMICS", *The GEC Journal of Tech.*, Vol. 15, No. 1, 1998.
- [2] A.A.M. Saleh, "Planar Electrically Symmetric n-Way Hybrid Power Dividers/Combiners", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* vol. 28, no.6, pp. 555-563, June. 1980.
- [3] Yung-Jinn Chen and Reuy-Beei Wu, "A Wide-Band Multiport Planar Power-Divider Design Using Matched Sectorial Components in Radial Arrangement", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 46, No. 8, pp. 1072-1078, August, 1998.
- [4] Mohamed D. Abouzahra, and Kuldip C. Gupta, "Multiple-Port Power Divider/Combiner Circuits Using Circular Microstrip Disk Configurations", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 35, No. 12, pp. 1296-1302, December 1987.
- [5] Mohamed D. Abouzahra, and Kuldip C. Gupta, "Multiple -Port Power Divider/Combiners Circuits Using Circular Microstrip Disk Configurations", *IEEE MTT-s*, pp. 211-214, 1987.
- [6] Mohamed D. Abouzahra, and Kuldip C. Gupta, "Multiport Power Divider-Combiner Circuits Using

- Circular Sector Shaped Planar Components", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 36, No. 12, pp. 1747-1751, December 1988.
- [7] M. D. Abouzahra, and K. C. Gupta, "Use of Circular Sector Shaped Planar Circuits for MultiPort Power Divider-Combiner Circuits", *IEEE MTT-s*, pp. 661-664, 1988.
- [8] Q-C Sun, and K. W. Eccleston and S. P. Yeo, "The Design of Optimum Planar Power Divider/Combiner for SSPA Applications", *1995 Asia Pacific Microwave Conference*, Korea, pp. 499-505, December 1995.
- [9] Jalal Benbrahim, Hassan Kobeissi, and Ke Wu, "CAD and Electrical Performance of New Compact Power Divider Suitable for Use in M(H)MICs", *IEEE MTT-s Inter. Microwave Symp. Dig.*, June 1997.
- [10] Hassan Kobeissi, and Ke Wu, "Design Technique and Performance Assessment of New Multiport Multihole Power Divider Suitable for M(H)MIC's", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 47, No. 4, pp. 499-505, April 1999.
- [11] G. Bartolucci, F. Giannini, and C. Paoloni, "Equivalent Circuit Model for Microstrip Multiport Radial Dividers", *IEE Proc.-Microwave Antennas and Propagation*, Vol. 141, No. 4, pp. 333-336, August 1994.
- [12] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, pp. 497-499, McGraw-Hill, 1992.
- [13] I. Wolff and Norbert Knoppik, "Rectangular and Circular Microstrip Disk Capacitors and Resonators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 22, No. 10, pp. 857-864, October 1974.