

선박 무선통신소자에의 응용을 위한 다중결합 선로를 이용한 RFIC/MMIC용 초소형 전력분배기의 설계

이동환⁺·윤영⁺⁺

Design of miniaturized power divider multiple coupled line on RFIC/MMIC for application to vessel wireless communication components.

Dong-hwan LEE⁺, Young YUN⁺⁺

Abstract : This paper proposed a miniaturization passive element employing the multiple microstrip line. As a result of this method, we realized the transmission line miniaturized. The applying structure designed and evaluated a power divider on GaAs MMIC circuit. It draws a plan in a center Frequency as the observation could do good characteristic.

Key words : Power coupler/divider(전력결합/분배기), GaAs(갈륨비소)

배기를 설계 하였다.

1. 서론

GaAs 또는 Si 전력증폭기 RFIC/MMIC 등의 전자소자에는 전력결합/분배기(power coupler/divider)가 필요하다. 일반적으로 알려진 전력분배기로는 윌킨슨 전력분배기가 있다. 전력분배기는 선로길이가 $\lambda/4$ 길이에 비례하고, 이 점은 제작에 있어서 제품의 크기가 커지고 더 많은 비용이 들게 한다. 고주파에서의 $4\lambda/4$ 선로는 GaAs 기판 상에 제작 가능하나 저주파로 갈수록 MMIC상에 집적하는 것이 불가능하며, 그 결과 큰 면적의 수동소자들이 MMIC 내부에 실장 되지 못하고 MMIC 외부의 프린트 기판 상에 제작된다. 이러한 점들은 MMIC 실장 모듈면적의 증가와 모듈실장 가격 증가의 원인이 된다. 본 논문에서는 GaAs MMIC상의 수동소자의 소형화를 위하여, 다중결합 선로를 제안한다. 즉 기존의 $\lambda/4$ 선로를 3개의 다중결합선로 구성하여 선로의 길이를 줄이는 방법을 제시하고 선로 사이즈가 작아짐에 따라 높은 임피던스선로의 제약을 극복하였다. 이에 실제로 6GHz용 윌킨슨 전력분

2. 본론

2.1 다중결합선로

그림 1은 종래의 $\lambda/4$ 선로를 보여준다. 그림 2는 High impedance 전송선로와 병렬커패시터를 사용하여 길이를 줄인 회로의 등가회로이다.

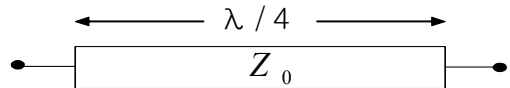


Fig. 1 $\lambda/4$ transmission line.

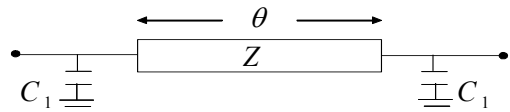


Fig. 2 Miniaturized equivalent circuit with high impedance transmission line and shunt capacitor.

+ 이 동 환(한국해양대학교 전파공학과)

++ 윤 영, 한국해양대학교 전파공학과, E-mail: yunyoung@bada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4426

위 그림 1의 ABCD 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & jZ_0 \\ \frac{j}{Z_0} & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

위 그림 2의 ABCD 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j\omega Z & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & jZ\sin\theta \\ j\frac{\sin\theta}{Z} & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j\omega Z & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\theta - \omega C_1 Z \sin\theta & jZ\sin\theta \\ j\frac{\sin\theta}{Z} + 2\omega C_1 \cos\theta - j(\omega C_1)^2 Z \sin\theta & \cos\theta - \omega C_1 Z \sin\theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

위 식으로부터 특성 임피던스와 병렬 커패시터의 값을 알 수 있다.

$$Z = \frac{Z_0}{\sin\theta}, \quad \omega C_1 = \frac{\cos\theta}{Z} \quad (3)$$

위 값을 이용하면 특성 임피던스가 너무 높으며, 이는 MMIC상의 수동소자의 구현에 대한 제약 요인이 된다. 예를 들면 길이가 $\lambda/8$ 이상이 되면 선로 임피던스 Z 가 100 Ω 이상이 되며, 이는 GaAs MMIC 상에 제작이 거의 불가능하다. 이런 제약을 극복하기 위해 공진회로를 삽입한 모습에서 coupled line 구조^[4]로 하면 길이는 줄어들고 선로 임피던스도 비교적 낮다. 이 구조는 그림 4에서 보여준다.

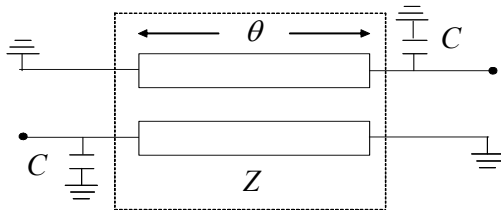


Fig. 3 Equivalent $\lambda/4$ transmission line circuit using shorted coupled-line pair.

그림 1, 2, 3의 구조가 등가가 되기 위한 조건은 다음과 같다.

$$L_0 = \frac{Z_0 \tan\theta}{\omega}, \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L_0} \quad (4)$$

$$C = C_0 + C_1 \quad (5)$$

이러한 결합선로를 사용하는 경우, 1 선로자체의 임피던스가 낮아짐으로서 실제 제작이 용이하게 되었으며, 수동소자의 크기도 줄어들었다.^[4] 본 논문에서는 선로의 coupling 용량을 이용하여 선로 길이를 더욱 축소하기 위해 그림 4와 같은 3중 결합 선로^{[1]-[3]}를 이용하였다.

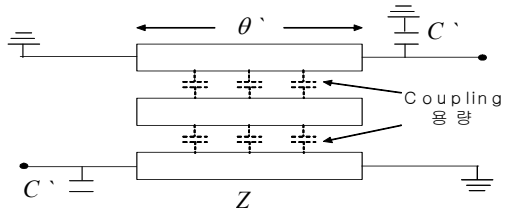


Fig. 4 The final equivalent $\lambda/4$ transmission line circuit.

즉, 그림 4의 구조에서 선로사이에 발생하는 coupling 용량을 이용함으로써 선로의 길이가 줄어들고, shunt 용량도 대폭 줄어들었다. 표1은 π 형 선로와 2중 결합선로, 3중 결합선로에 대한 길이와 shunt 용량을 보여준다.

	길이(μm)	shunt 용량(pF)
π 형 선로	417	8
2중 결합선로	275	10
3중 결합선로	195	4

table. 1 compare π -structure transmission line and coupled transmission line, multiple transmission line.

표 1에서 보는 바와 같이 3중 결합선로를 사용함으로써 π 형 선로, 2중 결합선로에 비해 선로 길이와 shunt 용량이 줄어들었다.

그림 5은 최종적으로 결합선로를 이용하여 $4/\lambda$ 전송선로를 소형화한 윌킨슨 전력분배기이다.

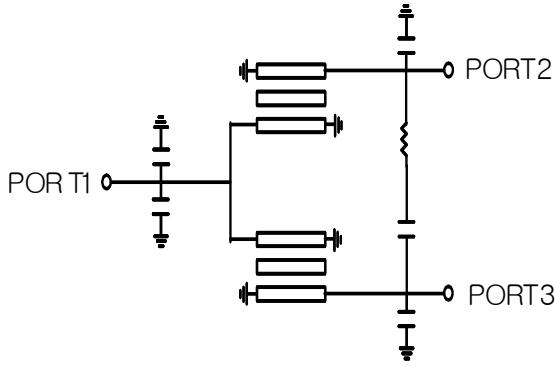


Fig. 5 Equivalent reduce-size power divider using shorted coupled-line.

2.2 MMIC용 6GHz 윌킨슨 전력분배기의 응용

본 논문의 다중 결합선로를 이용한 소형화를 입증하기 위해서 전력증폭기(PA) 또는 믹서(Mixer)등에 사용되는 윌킨슨 전력 분배기를 6GHz의 주파수에서 동작하도록 MMIC상에서 설계하였다. 윌킨슨 전력분배기는 동위상 전력분배특성을 가진다. 그림 6은 윌킨슨 전력분배기의 기본구조를 보여준다.

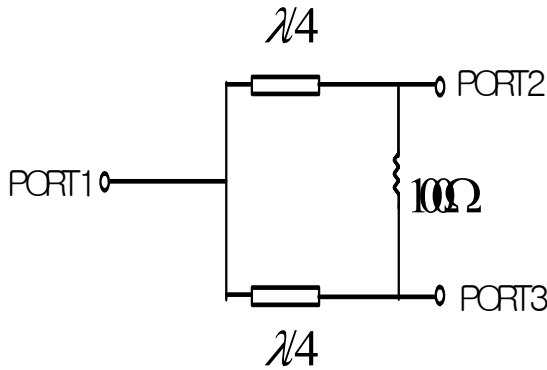


Fig. 6 basic structure of Wilkinson power divider.

예를 들어 포트1에 입력신호를 가하는 경우, 포트2와 포트3에서 출력되는 전력은 서로 동위상, 동전력 특성을 가진다. 이를 S 파라미터로 표현하면 다음과 같다.

$$Mag(S_{21})=Mag(S_{31}) \quad (6)$$

$$Phase(S_{21})=Phase(S_{31}) \quad (7)$$

$$Mag(S_{23})=0 \quad (8)$$

식 (8)은 절연특성을 나타내는 것이다. 그림 6과 같이 종래의 선로구조를 이용하여 6GHz 주파수에서 50 Ω 선로인 선로폭 W 70um의 선로를 기판 높이 100um의 GaAs 기판 상에 설계하는 경우 그 선로의 길이는 4360um 이며, 반면 다중 결합선로를 이용하여 설계하는 경우는 via hole까지 고려하면 길이는 약 270um로 약 1/16 정도로 길이가 축소된 것을 알 수 있다. 면적으로 보면 종래의 윌킨슨 전력분배기의 약 1/4 ~ 1/7 정도로 축소됨을 알 수 있다. 그림 7은 종래의 λ/4 전송선로와 소형화된 전송선로의 비교그림이다.

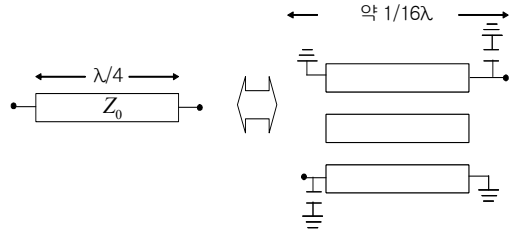


Fig. 7 compare λ/4 transmission line and reduced coupled-line.

종래의 전력분배기와 차이점은 소형화 외에 포트 2와 포트3 사이에 저항에 직렬로 커패시터가 달린 점이다. 직렬 커패시터의 역할은 포트2와 포트3의 절연(isolation)을 향상^[5]시키기 위해서이다. 그림 5에서 저항은 6Ω을 저항에 직렬로 연결되는 커패시터는 0.7pF을 사용하였다. 그림 8은 절연포트 특성을 나타낸다. (8)을 만족함을 알 수 있다. 6GHz에서 -47dB로 포트2, 3 절연 특성이 매우 양호하다.

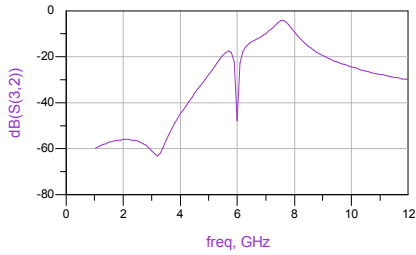


Fig. 8 Calculated and measured Isolation.

그림 9와 10은 소형화된 윌킨슨 전력분배기의 동위상 포트 전력분배 특성과 위상분배 특성을 보여준다. 시뮬레이션 툴로는 ADS가 사용하였고 다중결합선로는 모멘텀 방법에 의해 계산하였다. 선로폭은 20um 선로 간격은 20um 길이는 195um을 shunt capacitor는 4 pF을 사용하였다. 중심주파수 6GHz에서 포트 2, 3 출력은 -3.5dB 로 동전력 분배특성을 위상차는 0도로써 양호한 특성을 보여준다. 포트1, 2, 3은 모두 50Ω을 사용하였다. 중심주파수 6GHz에 대해서 양호한 동전력/동위상 분배특성이 관찰되어 위의 (6), (7)을 만족함을 알 수 있다.

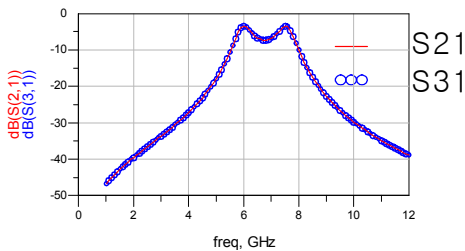


Fig. 9 Calculated and measured Insertion loss S21, S31

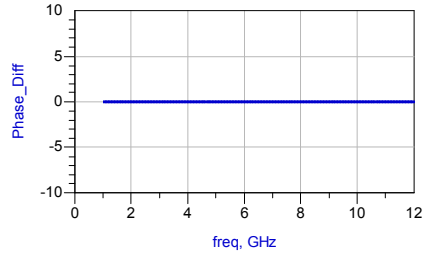


Fig. 10 Phase division characteristics for in-phase ports of power divider.

GaAs 기판 상에 MMIC로서 설계한 경우는 전력분배치가 -3.5 dB이며 이상적인 전력분배 특성인 -3 dB보다 0.5 dB 손실이 크다. 하지만 이러한 손실에도 불구하고 사이즈의 축소는 송수신 모듈의 저가격화에 있어서 더 중요하며, 일반적으로 이러한 손실은 전후단의 증폭기 MMIC의 이득을 조절함으로써 쉽게 보상이 가능하다.

3. 결 론

본 논문에서는 GaAs MMIC상에 소형화 수동소자를 구현하기 위하여 다중 결합선로를 제안 하였고, 그 결과 선로의 축소를 실현하였다. 위 구조를 이용하여 GaAs 기판 상에 MMIC용 윌킨슨 전력분배기를 설계 평가하였다. 선로길이는 종래보다 1/22(종래:4360um, 결합선로:195um) 정도로 축소하였고, 면적은 1/5 ~ 1/7 정도로 축소하였다. 위 윌킨슨 전력분배기는 중심주파수 6GHz에서 양호한 특성을 관찰할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원에 의해 수행되었습니다. (R05-2004-000-12754-0)

참고문헌

[1] V. K. Tripathi "On the Analysis of

Symmetrical Three-Line Microstrip Circuits," MTT-25, September 1977.

- [2] M. Kirschning and R. H. Jansen. "Accurate Wide-Range Design Equations for the Frequency-Dependent Characteristic of Parallel Coupled Microstrip Lines," MTT-32, January 1984.
- [3] Dimitrios Pavlidis, Hans L. Hartnagel "The Design and Performance of Three-Line Microstrip Couplers," MTT-24, October 1976.
- [4] J. H. Kang and J. S. Park, "A Reduced-sized Power Divider Using the d Coupled-Line Equivalent to a Lumped Inductor," Microwave Journal, July 2003.
- [5] M. Chongcheawchamnan, N. Siripon and I.D. Robertson, "Design and performance of improved lumped-distributes Wilkinson divider topology", Electronics Letters April 2001.