

공진 주파수 측정방법을 이용한 Coplanar Waveguide 용량성 불연속 구조 설계

김동영(金東映), 지 용(池 龍)
서강대학교, 공과대학, 전자공학과
전화: 716-3429 / 팩스: 716-3429 / 핸드폰: 016-326-5862

Modeling of Capacitive Coplanar Waveguide Discontinuities Characterized with a Resonance Method

Dongyoung Kim, Yong Jee
Department of Electronic Engineering, College of Engineering, Sogang University
E-mail: pawn5862@hanmail.net, yongjee@ccs.sogang.ac.kr

Abstract

A coplanar waveguide(CPW) on a dielectric substrate consists of a center strip conductor with semi-infinite ground planes on either side. This type of waveguide offers several advantages over microstrip line. It facilitates easy shunt as well as series mounting of active and passive devices. It eliminates the need for wraparound and via holes, and it has a low radiation loss. These, as well as several other advantages, make CPW ideally suited for microwave integrated circuit applications. However, very little information is available in the literature on models for CPW discontinuities. This lack of sufficient discontinuity models for CPW has limited the application of CPW in microwave circuit design.

We presented for the characteristics of coplanar waveguide open end capacitance and series gap capacitance. Measurements by utilizing the resonance method were made and the experimental data confirmed the validity of theories. The relationships between the CPW capacitances and the physical dimensions were studied.

I. 서론

CPW(Coplanar Waveguide) 구조는 접지면이 선로와 같은 평면에 놓여 있는 구조의 전송선로로서 마이크로 스트립 선로에 비해 많은 장점들을 지니고 있으며, 초고 주파 영역에서 그 유용성이 증가하고 있다[1]. 이 구조는 동일 기판 평면상에서의 수동소자의 병렬 연결이 용이하며, 공정상의 비아 홀과 같은 추가적인 공정이 불필요하다. 또한 밀리미터 주파수 대역까지 적은 분산특성과 손실을 갖으며, 특성임피던스가 상대적으로 기판의 두께에 독립적인 특성이 있다. 그러나 불연속 CPW 구조에 대한 용량을 정량적으로 모델링하고 해석하는 데에는 그 한계가 있다.

이로 인하여 밀리미터파 집적회로의 설계 구현을 위해 정량적인 계산과 라이브러리를 필요로 하므로, 불연속 등가 캐패시턴스와 같은 평면형 등가 소자값에 대한 모델링과 측정을 조사하였다.

본 논문은 CPW 불연속 구조인 open end와 series gap의 용량성에 대한 설계 및 측정 방법으로서 물리적 변수로 모델링하며, ADS Momentum을 이용하여 설계한 후, 공진 주파수 측정법(Resonance Method)을 이용하여 설계 제작된 CPW 캐패시턴스를 측정하였다. 또한, 30GHz 대역에서 설계된 CPW 불연속 구조가 측정치와 잘 일치함을 볼 수 있었다.

II. 본론

2.1 CPW 불연속 캐패시턴스 추출과 모델링

Coplanar waveguide 불연속 구조인 open end와 series gap 캐패시턴스를 물리적 변수로 모델링 하고 실험하는 과정을 그림 1에 나타내었다[2],[3],[4].

Open end 캐패시턴스는 종단된 신호선과 주변의 그라운드간에 발생한 전계에 의해 capacitive 리액턴스가 증가하며, gap에 걸친 fringing field에 의해 발생된다. series gap 캐패시턴스는 종단된 두 신호선 간에 발생하는 coupling에 의해 나타난다.

그림 2는 불연속 구조와 그 등가회로를 나타내었다. Open end 캐패시턴스는 narrow slot formula 식(1)에 의해 신호선과 그라운드간의 거리 s, 도선폭 w와 종단된 신호선과 주변의 그라운드간의 거리 g로 표현된다. series gap 캐패시턴스는 coplanar strip line duality 식(2) 특성과 conformal mapping 식(3) 특성 두 가지로 계산 될 수 있으며, 두 신호선의 거리 w와 신호선의 폭으로 나타내어진다.

• Open End Capacitance

$$C_{oe} = \frac{2\epsilon_0}{\pi} \left\{ w s \left[\frac{\ln(\frac{w+s}{n})}{n} + \frac{\sqrt{1+n^2}}{n} \left(\frac{1}{3\sqrt{1+n^2}} + \frac{1}{m\sqrt{1+n^2}} \right) \right] \left(\frac{w}{3} \right) \right\} \quad (1)$$

$$n = \frac{g}{(w+s)}$$

$$\therefore C_{oe} = \epsilon_{eff} C_{oe}(e,=1)$$

• Series Gap Capacitance (Duality)

$$\therefore C_{gp} (pF) = \frac{\epsilon_{eff}}{35.48} L_{rs} (nH) \quad p = g/w$$

$$L_{rs} = \frac{\mu}{2\pi} \frac{w}{4} \left[p - \sqrt{1+p^2} + \ln \left(1 + \sqrt{1+p^2} \right) / p \right] \quad (2)$$

• Series Gap Capacitance (Conformal Mapping)

$$K(k) = \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}} dt \quad k = w/(w+s)$$

$$\therefore C_s = \frac{2}{\pi} \epsilon_{eff} K(k) \ln \left(1 + 8 \exp \left(\frac{-\pi G}{SK(k)} \right) \right) \quad (3)$$

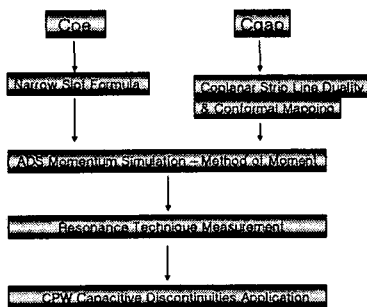


그림 1. Coe, Cgap Parameter 추출 과정

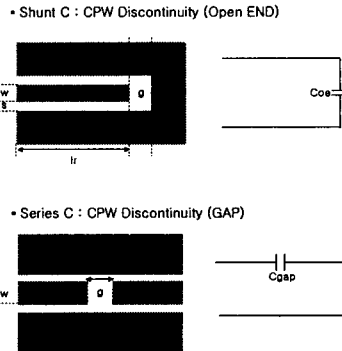


그림 2. CPW 불연속 구조와 등가회로

Conformal mapping으로 유도된 공식을 이용해 CPW gap capacitance을 설계할 경우, 유전 상수 4.1, gap을 50um~5000um 변화 시켰을 때 캐패시턴스는 0.35pF~0.05pF을 보였다. 따라서 수십 마이크로 집적회로 공정시의 불연속 캐패시턴스는 유전상수의 증가와 gap의 감소로 큰 변화가 예상된다.

2.2 공진 주파수 측정

CPW 불연속 캐패시턴스를 측정하기 위해 공진 주파수 방법을 이용하였다. 공진 주파수 측정 방법은 de-embedding technique[1]보다 간단하고 transition의 영향을 최소화한 측정방법으로 유효 유전 상수를 결정하거나 불연속 파라메타를 추출하는 데 사용된다. 다양한 형태의 공진 주파수 측정법이 있으나 본 실험에서는 그림 3과 같이 series-gap-coupled straight resonator pairs 방식을 이용하였다[5],[6].

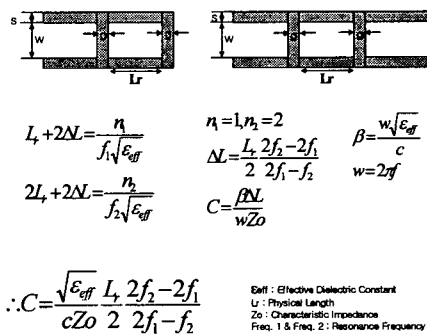


그림 3. 공진 주파수 측정방법

본 논문은 측정하려는 물리적 불연속점을 대칭구조로 설정하여 측정 수식과 실험 패턴의 제작 수를 간단하게

공진 주파수 측정방법을 이용한 Coplanar Waveguide 용량성 불연속 구조 설계

하였다. 측정주파수 대역을 4GHz로 설정하기 위해 length를 2.5cm로 제작했으며 측정된 공진 주파수 frequency1, frequency2의 비율로써 ΔL 을 결정하여 CPW 불연속 캐패시턴스를 추출하였다.

2.3 테스트 기판의 제작과 실험

CPW open end와 series gap을 실험하기 위해 그림 4과 같이 공진회로 형태의 테스트 기판을 제작하였다. CPW 50Ω 특성을 위해 유전율을 4.1인 FR4 기판에 두께 600 μm , 도선폭 6500 μm , 그라운드간의 거리 350 μm 인 패턴을 제작하였고, SMA 커넥터를 연결하여 HP8722ES 네트워크 분석기로 측정하였다. 또한 HP ADS momentum을 이용하여 공진 주파수 회로 패턴을 모의실험 하였다.

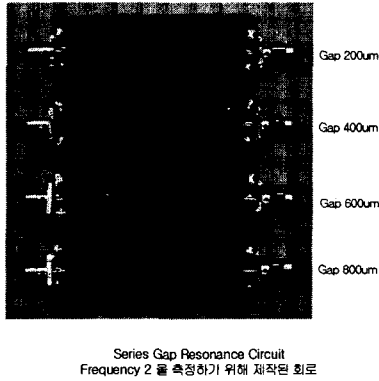
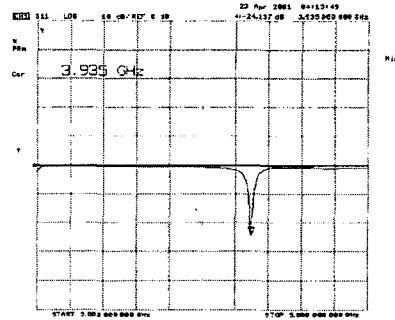


그림 4. 공진 주파수 측정을 위한 회로 패턴

2.4 실험 결과

그림 5는 600 μm gap을 갖는 open end 캐패시턴스 공진회로의 결과이다. 그림 6과 그림 7은 open end와 series gap 공진회로의 측정 주파수와 momentum으로 모의 실험한 공진 주파수의 결과이다. 위의 결과를 이용하여 effective length를 결정하고 CPW 불연속 구조의 캐패시턴스를 계산하였다.

그림 8과 그림 9는 테스트 기판으로 추출된 CPW 불연속 캐패시턴스로 얻어진 설계치와 측정치를 비교하였다. CPW의 물리적인 구조를 이용한 이론적인 캐패시턴스와 momentum 결과, 제작된 공진회로 결과간에 오차는 10% 내외로써 매우 일치하였으며, 0.1pF~0.4pF의 캐패시턴스의 경향을 예측할 수 있었다. 예를 들어 600 μm open end gap에 대한 이론적인 결과는 0.264pF, momentum 결과는 0.245pF, 측정 결과는 0.252pF으로 매우 정확한 결과를 보였다.



Open End 600um Gap (Lr=5cm) 공진 주파수

그림 5. 600um Gap을 갖는 open end 공진 주파수 측정 결과

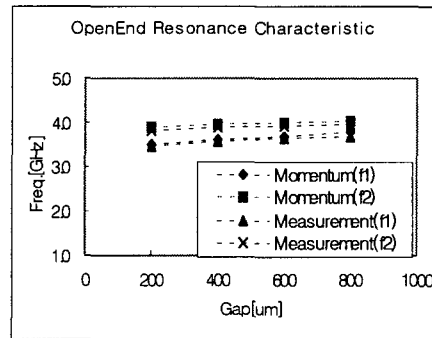


그림 6. 측정된 open end 공진 주파수

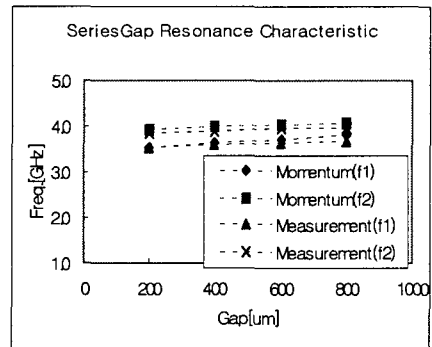


그림 7. 측정된 series gap 공진 주파수

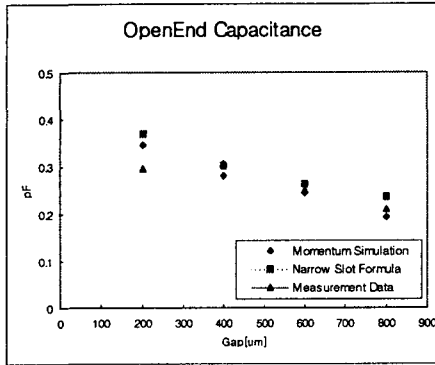


그림 8. open end Capacitance 결과

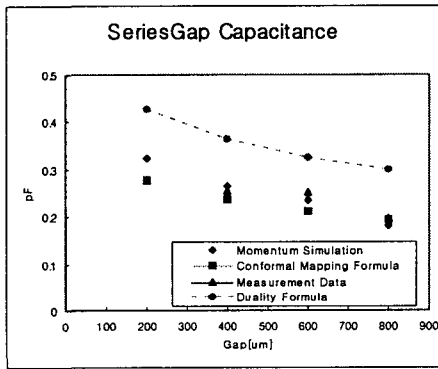


그림 9. series gap Capacitance 결과

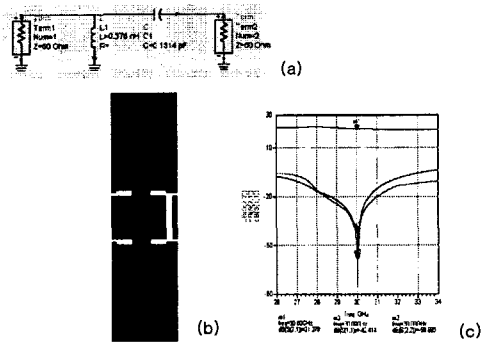


그림 10. CPW 구조로 설계된 30GHz LC 필터 특성

그림 10은 CPW 불연속 캐패시턴스로 LC 필터회로 (a)을 구현하기 위해 불연속 등가 캐패시턴스를 적용한 경우를 나타내고 있다. 그림 10(b)(c)는 입력단과 출력단

의 CPW 설계도(b)와 시뮬레이션 결과(c)이다. CPW 구조로 설계된 30GHz 필터회로에 대한 S11, S22는 -42dB, -58dB로 설계치와 잘 일치된 필터 특성을 보였다.

III. 결론

본 논문은 CPW 불연속 캐패시턴스를 공진 주파수 방법으로 정확히 측정하고 물리적 변수로 모델링한 결과를 이용하였다. Momentum field 해석 프로그램을 이용한 결과와도 실험 결과와 매우 일치하였으며, Planar passive component에 응용 가능한 캐패시턴스 소자값을 모델링 할 수 있었다.

또한 패턴의 불연속 구조를 측정하는데 있어, S-parameter 측정법에서 발생하는 large gap과 small gap의 값의 차이와 transition등의 측정 방법상의 문제를 최소화하였다. 그리고, CPW series gap의 용량성 캐패시턴스의 값을 추출하는데 있어 conformal mapping을 직접 적용한 경우가 duality을 이용한 소자값 계산보다 정확하다는 결론을 실험을 통해 내릴 수 있었다.

CPW을 이용한 불연속 캐패시턴스를 정확하게 추출하고 비교함으로써 CPW 구조를 이용한 밀리미터파 집적 회로와 초고주파 회로 제작에 유용할 것으로 본다.

참고논문

- [1] R. N. Simons, and G. E. Ponchak, Modeling of Some Coplanar Wave-guide Discontinuities, IEEE MTT-36, pp. 1796-1803, 1988.
- [2] M. H. Mao, R. B. Wu, C. H. Chen, and C. H. Lin, Characterization of Coplanar Wave-guide Open End Capacitance - Theory and Experiment, IEEE MTT-42, pp. 1016-1024, June 1994.
- [3] W. J. Getsinger, Circuit Duals On Planar Transmission Media, IEEE MTT-S, pp. 154-156, 1983.
- [4] S. Gevorgian, T. artinsson, P. Linner, and E. Kollberg, Simple Analytical Approximation For A Gap in Coplanar Waveguide, 30th European Microwave Conference, pp. 259-262, 2000
- [5] R. E. Collin, Foundations for Microwave Engineering 2nd, McGraw-Hill, pp.617-619, 1992.
- [6] T. Edwards, Foundations for Microstrip Circuit Design 2nd, John Wiley & Sons, pp.250-253, 1991.