

마이크로스트립 평행 결합선로의 임피던스 측정

장익수, 윤영철, 안달
서강대학교 전자공학과

Measurement of the Microstrip Parallel Coupled Line Impedances

Ik Soo Chang, Young Chul Yoon, and Dal Ahn

Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract

New measurement method of coupled transmission line characteristics is described. This method presents precision calculated values of even- and odd-mode impedances and effective dielectric constants of microstrip parallel coupled lines from the scalar quantities obtained by transmission coefficients at two different resonance frequencies. Measured impedances and effective dielectric constants are in good agreement with predicted values.

I. 서론

마이크로스트립 결합선로의 경우, 그 이용가치에 비하여 정확한 설계가 어렵기 때문에 이를 이용하는 회로는 여러번의 시행착오 과정을 통하여 제작되어지는 것이 보통이다. 더욱이 사용하고자 하는 기판의 유효유전율이 작고, 여기에 제작되는 선로의 폭도 좁아지면 일반적인 설계식[1,2,3]으로는 정확한 특성임피던스를 갖는 선로의 제작이 곤란할 뿐 더러 etching 과정에서 생기는 오차도 무시할 수 없다. 특히, 공진기들의 결합이나 방향성이 좋은 결합기, 협대역의 여파기등에 이용하기 위해서는 결합선로의 정확한 특성을 측정하여 사용 하는것이 바람직하나 그 방법이 매우 까다롭다[4,5].

본 논문에서는 유효유전율이 2.5인 Teflon 기판 위에 제작된 선로들에 대하여, 이들의 even- 및 odd-mode 특성임피던스를 직접 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하고, 이들 측정치를 기존 설계식과 비교하여 봄으로써 본 측정방법의 유용성을 보이고자 한다. 또한, 위상속도의 차이에 의한 mode 에 따른 선로의 유효유전율도 측정하여 설계식과 비교하였다.

II. 양쪽단자가 종단되어 있는 공진기의 해석

그림 1(a) 와 같은 개방단 대칭형 평행 결합 선로는 T 형 또는 π 형 등가회로로 볼 수 있으며, π 형 등가회로는 다시 그림 1(b) 와 같은 회로로 바꿀 수 있다[6,7,8]

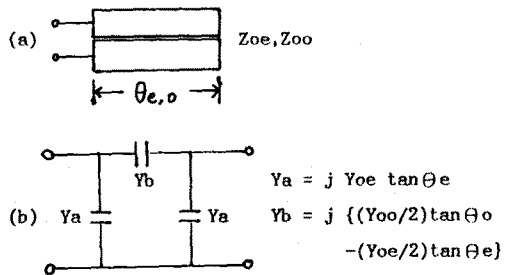


그림 1. 개방단 대칭형 평행 결합선로의 등가회로.
Fig. 1. Open-end parallel coupled line.

이러한 결합선로 양단에 특성임피던스가 Y_0 이고 길이가 $-\phi/2$ 인 부의 길이를 갖는 전송선로를 연결 시킴으로써 J-inverter 를 구성할 수 있으며, 그 값은 다음과 같이 주어진다[9]

$$J = Y_0 | \tan[-\phi/2 + \tan\{(Y_{oe}/Y_0)\tan\theta_e\}] | \quad (1a)$$

$$\phi = \tan^{-1}\{(Y_{oo}/Y_0)\tan\theta_o\} + \tan^{-1}\{(Y_{oe}/Y_0)\tan\theta_e\} \quad (1b)$$

이 J-inverter 를 전송선로의 양단에 연결한 후 Y_0 의 어드미턴스로 종단시키자. 이렇게 양쪽단자를 모두 종단시키면, 입력단만 종단시키므로 해서 생기는 부정합 특성을 보다 작게하여 반사계수가 극단적인 값을 갖지 않도록 할 수 있다[10]

그림 2 에 보이는 회로로부터 이 공진기는 J-inverter 사이에 놓인 선로의 길이가 반파장의

정수배가 되는 주파수에서 단동조회로 (single tuned circuit)를 이루며, $\phi + \phi = \pi$ 인 공진주파수 근방에서 전송선로는 양단이 J / Y_0 로 종단된 병렬 공진회로로 볼 수 있다[11].

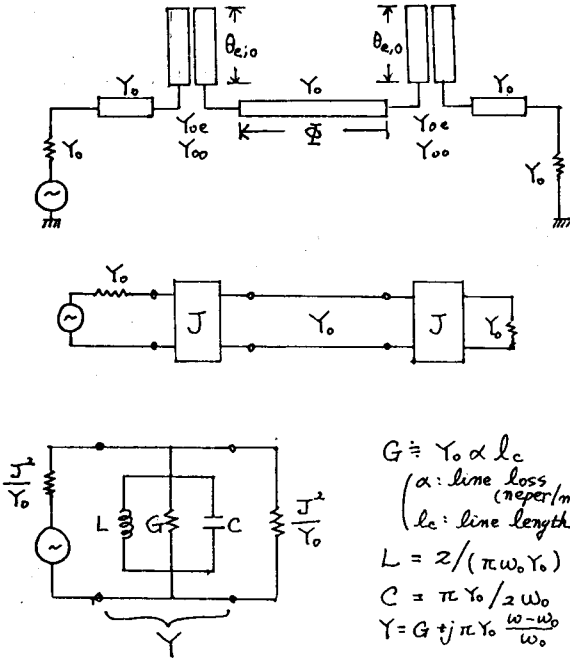


그림 2. 전송선로 공진기의 등가회로.
Fig. 2. Transmission line resonator.

이 회로로부터 반사계수 및 전송계수를 구하면

$$S_{11} = -Y / (Y + 2J^2 / Y_0) \quad (2a)$$

$$S_{11o} \equiv S_{11} |_{w=w_0} = -G / (G + 2J^2 / Y_0) \quad (2b)$$

$$S_{21} = (2J^2 / Y_0) / (Y + 2J^2 / Y_0) \quad (2c)$$

$$S_{21o} \equiv S_{21} |_{w=w_0} = (2J^2 / Y_0) / (G + 2J^2 / Y_0) \quad (2d)$$

이고, 식 (2)로부터

$$J^2 = |S_{21o} / S_{11o}| Y_0 G / 2 \quad (3)$$

를 얻으며, S_{11} 과 S_{21} 사이에

$$|S_{11o}| + |S_{21o}| = 1 \quad (4)$$

인 관계가 성립함을 알 수 있다.

이제, 전송선로가 손실이 없다고 가정할때의 J-inverter의 값을 J_0 라 하면,

$$J_0^2 / Y_0 = J^2 / Y_0 + G / 2 \quad (5)$$

로 표시되며, 이를 single-section Chebyshev 형 대역 통과 여파기로 볼 경우

$$J_0 / Y_0 = \sqrt{\pi \cdot \Delta w / (2g_1 \cdot w_0)} \quad (6)$$

가 되며, w 와 g_1 은 각각 여파기의 대역폭과 정규화된 파라미터를 나타낸다[12].

따라서, 식(3), (4), (5), (6) 으로부터 식(7) 과 같은 J-inverter의 값을 얻는다.

$$J = Y_0 \sqrt{|S_{21o}|} \sqrt{\pi \cdot \Delta w / (2g_1 \cdot w_0)} \quad (7)$$

식(7) 은, 공진주파수와 $|S_{21o}|$, 그리고 임피던스의 손실값에 대한 대역폭을 측정할 후 이에따른 여파기의 파라미터, g_1 을 알면 J-inverter의 값을 구할 수 있음을 보여준다.

III. 특성 임피던스 및 유효유전율의 산출

길이가 lc 이고 비유전율이 ϵ 인 동축선로의 양단에 측정하고자 하는 결합선로를 연결하여 그림 2 와 같은 회로를 구성하면, 공진주파수에서

$$\phi = \pi - (w_0 / vc) (lc \cdot \sqrt{\epsilon \epsilon_0}) \quad (8)$$

가 된다. 여기서 vc 는 광속도이다.

이제, 공진주파수 근방에서 $|S_{11}|$ 과 $|S_{21}|$ 을 측정하여 식(4) 가 만족됨을 확인한 후 식(7) 으로부터 J-inverter의 값을 구하면, 이로부터 결합선로의 even-, odd-mode 특성임피던스와 이에 따른 유효선로 길이를 구할 수 있다.

결합선로에서 $Y_{oe} < Y_{oo}$ 이며 $0 < \theta_{e,o} < \pi/2$ 이므로, 식(1)로부터 아래의 관계식을 얻는다.

$$\phi/2 - \tan^{-1}(J/Y_0) = \tan^{-1}\{(Y_{oe}/Y_0) \tan \theta_e\} \quad (9)$$

$$\phi/2 + \tan^{-1}(J/Y_0) = \tan^{-1}\{(Y_{oo}/Y_0) \tan \theta_o\} \quad (10)$$

길이가 약간 다른 두 개의 동축선로를 사용하여 f_1, f_2 에서 공진시키면, 식(8), (9), (10) 에 의하여 다음과 같은 4개의 관계식을 유도할 수 있다.

$$(Y_{oe}/Y_0) \tan(2\pi f_1 \cdot lm \sqrt{\epsilon \epsilon_0} / vc) = \tan\{\phi_1/2 - \tan^{-1}(J_1/Y_0)\} \quad (11)$$

$$(Y_{oe}/Y_0) \tan(2\pi f_2 \cdot lm \sqrt{\epsilon \epsilon_0} / vc) = \tan\{\phi_2/2 - \tan^{-1}(J_1/Y_0)\} \quad (12)$$

$$(Y_{oo}/Y_o) \tan(2\pi f_1 \cdot lm \sqrt{\epsilon_{ro}} / vc) = \tan[\phi_1/2 + \tan(J_1/Y_o)] \quad (13)$$

$$(Y_{oo}/Y_o) \tan(2\pi f_2 \cdot lm \sqrt{\epsilon_{ro}} / vc) = \tan[\phi_2/2 + \tan(J_1/Y_o)] \quad (14)$$

여기서 lm 은 제작된 결합선로의 길이이며, ϵ_{re} , ϵ_{ro} 는 mode 에 따른 유효유전율을 나타낸다.

식(11), (12), (13), (14) 로 부터, Y_o , lm , vc 는 알고 있는 값이며, f_1 , f_2 , ϕ_1 , ϕ_2 , J_1 , J_2 는 측정치로 부터 구할 수 있으므로, 결합선로의 mode 에 따른 특성임피던스 및 유효유전율을 찾아낼 수 있다.

IV. 실험 및 결과

측정하고자 하는 주파수에서의 파장이 너무 짧을 경우 측정시 사용되는 전송선로 공진기의 길이를 정확히 측정하기가 어렵고 실제의 전기적 길이와의 오차도 무시할 수 없으므로, 본 논문에서는 공진 주파수가 1 GHz 를 넘지 않도록 결합선로의 길이와 전송선로 공진기의 길이를 선택하였다.

정밀한 측정치를 얻기 위하여 전송선로는 유전체 직경이 0.141" 인 coaxial semi-rigid cable 을 사용하여 불필요한 손실을 줄이고 정확한 특성임피던스를 유지할 수 있도록 하였다.

실제 측정에 사용된 시료의 규격을 아래에 보인다.

- 결합선로 : 1/32" teflon 기판 ($\epsilon_r=2.5$)
- $lm = 20.0$ mm
- $s/h = 1.0$, $w/h = 1.25 \sim 3.75$
- 동축선로 : 0.141" semi-rigid coaxial cable
- $lc1 = 35.3$ mm ($\epsilon_r=2.1$)
- $lc2 = 72.4$ mm

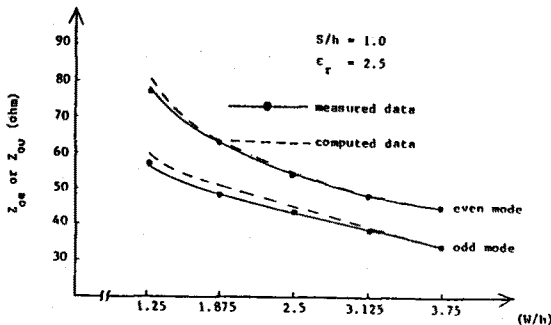


그림 3. 측정된 특성임피던스.
Fig. 3. Measured characteristic impedances.

그림 3 과 그림 4 에 측정된 임피던스 및 유효 유전율의 값을 설계식[1] 과 비교하여 보인다.

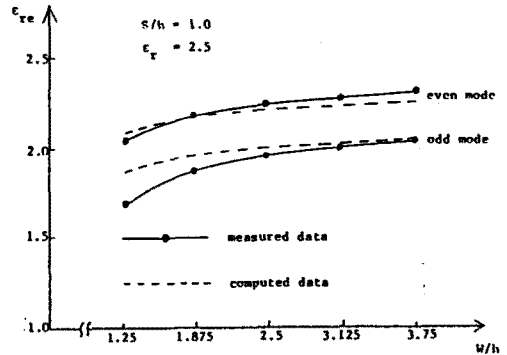


그림 4. 측정된 유효유전율.
Fig. 4. Measured effective dielec. constant.

V. 결 론

실험 결과로부터 알 수 있듯이, 측정된 값들이 설계식과 상당히 유사하다. 다만 w/h 의 값이 작을 경우에는 차이를 많이 보이는데, 이는 설계식이 갖고 있는 오차와 결합선로의 제작이 설계값 대로 이루어 지지 않아서 생기는 차이로 판단된다.

임피던스 및 유효유전율의 값은 측정용 지구의 크기와 두께의 높이에 따라 많은 차이를 보이므로 이러한 조건을 모두 고려한 설계식과 비교하는 것이 바람직하다. 또한, 본 논문에서는 동축선로가 마이크로 스트립선로와 연결되는 결합부분을 무시하였으나, 이 부분에서 생기는 기생 성분들에 의하여 결합선로와 동축선로의 전기적 길이에 영향을 주므로, 높은 주파수 대역에서 측정할 경우에는 이에 대한 세밀한 분석이 요구된다.

일반적으로 결합선로의 폭과 간격이 너무 넓거나 좁을 경우 설계식에서도 오차가 커지지만, 이와함께 제작 과정에서 생기는 길이의 변화도 무시할 수 없다. 따라서, 정확한 특성이 요구되는 결합선로에 대해서는 직접 선로의 임피던스를 측정하여 확인되어야 하며, 이러한 용도에 본 논문이 제시한 측정방법은 보다 폭 넓게 응용될 수 있으리라 생각된다.

더우기 본 측정방법은 단순한 입력 반사계수, 또는 전달계수의 크기만을 필요로 하므로 간단한 실험장치로도 정확한 임피던스와 유효유전율의 측정이 가능하다. 특히, 결합선로를 이용하여 여파기등을 설계할 경우 측정된 값과 설계치를 비교하여 봄으로써 원하는 결과에 쉽게 접근할 수 있으리라 생각된다.

REFERENCES

- [1] R. Garg and I. J. Bahl, "Characteristics of coupled microstriplines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-27, pp.700-705, July 1979.
- [2] S. Akhtarzad, T.R. Rowbotham, and P.B.Jones, "The design of coupled microstrip lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-23, pp.486-492, June 1975.
- [3] M. Kirschning and R. H. Jansen, "Accurate wide-range design equations for the frequency-dependent characteristic of parallel coupled microstrip lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-32, pp.83-90, Jan. 1984.
- [4] L. S. Napoli and J. J. Hughes, "Characteristics of coupled microstrip lines," *RCA Review*, vol.31, pp.479-498, 1970.
- [5] V. Rizzoli, "Resonance measurement of even and odd mode propagation constants in coupled microstrips," *Proc. Int. Microwave Symposium*, 1975.
- [6] E. M. T. Jones and J. T. Bolljahn, "Coupled-strip-transmission line filters and directional couplers," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-19, pp.75-81, Apr. 1956.
- [7] R. J. Wenzel, "Exact design of TEM microwave networks using quarter-wave lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-12, pp.94-111, Jan. 1964.
- [8] G. L. Mattahei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. New York: McGraw-Hill, 1964, pp.217-229.
- [9] *Ibid.* pp.434-438.
- [10] *Ibid.* pp.651-663.
- [11] *Ibid.* pp.214-217.
- [12] *Ibid.* pp.427-434.