

도체 두께를 가진 결합선로를 이용하여 강한 결합특성을 갖는 1/4파장 역방향 방향성 결합기의 설계

Design of Tight Coupled 1/4 Wavelength Backward-Wave Directional Coupler using Coupled Lines with Finite Metallization Thickness

홍 익 표 · 윤 남 일* · 육 종 관**

Ic-Pyo Hong · Nam-Il Yoon* · Jong-Kwan Yook**

요 약

본 논문에서는 유한한 도체 두께를 갖는 결합선로를 이용하여 1/4 파장 역방향 방향성 결합기를 설계하였다. 방향성 결합기를 구성하는 유한 도체 두께를 갖는 결합선로를 해석하기 위한 방법으로 간단하고 빠른 수치해석 방법인 모드정합법을 사용하였다. 본 논문의 해석 결과는 도체 두께를 고려한 역방향 방향성 결합기의 설계가, 도체 두께를 고려하지 않고 설계한 경우 기존에 알려졌던 단점들인 약한 결합특성, 낮은 지향성, 그리고 비현실적인 결합선로의 폭을 극복할 수 있음을 보여준다. 또한, 수치해석 결과로부터 1/4파장 역방향 방향성 결합기에서는 도체 두께의 고려로 강한 결합특성을 만드는 것이 가능하지만, 결합길이가 약간 길어진다는 사실을 확인하였다. 본 논문에서 해석한 유한한 도체 두께는 역방향 방향성 결합기의 새로운 설계 변수로서 사용이 가능하며, 아울러 다양한 마이크로파 집적회로의 설계에도 응용이 가능함을 보여준다.

Abstract

In this paper, the 1/4 wavelength backward-wave directional coupler using coupled lines with finite metallization thickness is described. A mode-matching method, simple and fast approach to the quasi-static analysis, has been used to analyse this structure. The numerical results show that it is possible to overcome the disadvantages of weakly coupling, low directivity, and narrow strip distance non-realizable in the case of 1/4 wavelength backward-wave directional coupler with zero thickness conductor. It is also revealed that thicker metallization causes longer coupler length in the case of backward-wave symmetrical parallel coupled line directional coupler. The finite metallization thickness can be a new parameter for tight coupling in the design of backward-wave directional couplers, which enables us to design more accurate properties of monolithic microwave integrated circuits.

Key words : Wave Directional Coupler, Metallization Thickness, Mode-Matching Method

I. 서 론

마이크로파 집적회로, 광전자 집적회로 또는 MEMS(Micro-electro-mechanical-system)회로의 설계에서는 전송선로 구조내의 다른 설계 변수들의 크기에

비해서 도체 두께가 무시할 수 없을 정도의 크기가 되기 때문에, 결합 전송 선로를 이용한 방향성 결합기 등 강한 결합을 요구하는 회로설계에서는 전송선로의 도체 두께에 의한 영향을 고려한 전파특성 해석을 통하여 보다 정확한 전기적 설계 특성파라미터

공주대학교 정보통신공학부(Dept. of Information & Communication Engineering, KongJu National University)

*명지전문대학 정보미디어과(Dept. of Information Media Engineering, Myongji College)

**연세대학교 전기전자공학부(Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20030414-059

· 수정완료일자 : 2003년 8월 16일

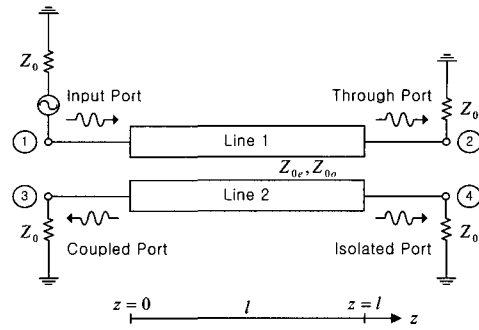
를 예측해야 한다^{[1],[2]}.

유한한 도체 두께를 갖는 전송선로의 구조해석에 사용될 수 있는 해석방법으로 공간주파수 혼합영역 방법(mixed spectral-space domain method)^[2], 모드정합 방법(mode-matching method)^[3], 등각사상방법(conformal mapping method)^[4], 경계요소방법(boundary element method)^[5], 선로방법(method of lines)^[6] 등이 있으며, 그동안 이 방법들을 이용하여 도체 두께를 고려한 마이크로스트립 전송선로에 대한 연구^{[7]-[9]}와 도체 두께를 고려한 결합선로의 특성에 대한 연구^{[1],[2],[10],[11]}가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 다양한 준정적 해석방법들 중에서 다층구조의 해석에 적합하고 수식 전개가 용이한 모드정합방법을 사용하였다^[3]. 모드정합방법은 다른 준정적 해석방법들에 비해서 적분과 반복연산을 필요로 하지 않고, 수식의 전개가 직접적이고 간편하여 도체 두께를 고려한 전송선로의 해석에 적합한 방법이다^{[1],[6],[12]}.

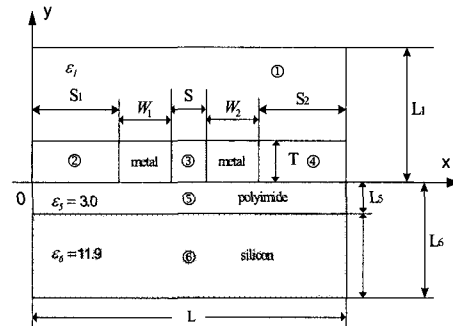
본 논문에서 설계한 결합선로를 사용한 1/4 파장 역방향 결합기는 그림 1(a)와 같이 모델링이 가능하며, 정방향 결합기에 비하여 임의의 결합도를 갖는 부피가 작은 결합기의 설계는 가능하다는 장점 때문에 광대역 특성을 갖는 90° 위상천이기에 대한 연구가 이루어져 왔다^[14]. 역방향 방향성 결합기에 대한 대부분의 연구들은 비대칭 결합선로와 같은 기하학적인 변화를 통한 결합량을 조절하는 분야에 한정되어 왔다. 그러나, 비대칭 결합선로를 이용하더라도 대칭 결합선로를 이용하는 경우에 비해 대역폭에는 장점이 없다고 알려져 있기 때문에 대역폭을 늘리기 위해서 Multisection 결합기를 구성해야 한다^{[13],[14]}. 또한, 강한 결합 특성을 구현하기 위해 설계파라미터로 얻어지는 우모드와 기모드의 특성임피던스를 구현하기 위해서는 결합선로 사이의 폭이 비현실적으로 매우 좁아^[14], 구현이 불가능하다는 단점이 있다^[15]. 본 논문에서는 이러한 1/4 파장 역방향 결합기의 약한 결합 특성, 낮은 지향도 등의 단점을 극복하기 위해, 새로운 설계 파라미터로서 도체 두께를 제안하고 도체 두께에 따른 결합기의 특성을 연구하였다.

II. 도체 두께를 고려한 결합선로의 해석

그림 1(b)에 MEMS로 실제 제작이 가능한 다층



(a) 1/4 파장 역방향 방향성 결합기의 모델링
(a) Modeling of 1/4 λ_g backward-wave directional coupler



(b) 유한 도체 두께를 갖는 결합선로의 구조
(b) Coupled lines structures with finite metallization thickness

그림 1. 유한 도체 두께를 갖는 결합선로를 이용한 역방향 방향성 결합기 구조

Fig. 1. Configurations of backward-wave directional coupler using the coupled lines with finite metallization thickness.

유전체 기판으로 이루어진 전송선로에서 유한한 도체 두께를 갖는 대칭결합 선로 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 그림 1(b)의 구조에 대하여 6개의 영역으로 나누어 해석했으며^[3], 기하구조 내에 존재하는 모든 도체는 완전도체로 가정하였다. 그림 1(b)의 구조에서 전위함수는 라플라스 방정식(Laplace's equation)과 경계조건을 만족하는 항들로 구성된 푸리에-정현파 급수(Fourier-sine series)로 나타낼 수 있다. 즉 그림 1의 구조에서 각 영역 ①~⑥의 전위함수 $\phi_1 \sim \phi_6$ 은 순서대로 식 (1)~(6)과 같이 각각 나타낼 수 있다.

$$\phi_1 = \sum_{i=1}^{N_1} A_i \left[e^{\frac{i\pi(y-L_1)}{L}} - e^{-\frac{i\pi(y-L_1)}{L}} \right] \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (1)$$

$$\phi_2 = \frac{V_1}{S_1} x + \sum_{j=1}^{N_1} \left[B_j e^{\frac{j\pi y}{S_1}} + C_j e^{-\frac{j\pi y}{S_1}} \right] \sin \frac{j\pi x}{S_1} \quad (2)$$

$$\phi_3 = \frac{(V_2 - V_1)[x - (S_1 + W_1)]}{S} + V_1 + \sum_{k=1}^N \left[D_k e^{\frac{k\pi y}{S}} + E_k e^{-\frac{k\pi y}{S}} \right] \sin \frac{k\pi [x - (S_1 + W_1)]}{S} \quad (3)$$

$$\phi_4 = \frac{V_2(L-x)}{S_2} + \sum_{i=1}^{N_1} \left[F_i e^{\frac{i\pi y}{S_2}} + G_i e^{-\frac{i\pi y}{S_2}} \right] \cdot \sin \frac{i\pi [x - (L - S_2)]}{S_2} \quad (4)$$

$$\phi_5 = \sum_{i=1}^{N_1} \left[H_i e^{\frac{i\pi y}{L}} + I_i e^{-\frac{i\pi y}{L}} \right] \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (5)$$

$$\phi_6 = \sum_{i=1}^{N_1} J_i \left[e^{\frac{i\pi(y+L_6)}{L}} - e^{-\frac{i\pi(y+L_6)}{L}} \right] \sin \frac{i\pi x}{L} \quad (6)$$

여기서 V_1 과 V_2 는 각각의 스트립에 인가된 전위이고, $A_i, B_j, C_j, D_k, E_k, F_i, K_i, H_i, I_i$ 와 J_i 는 결정되어야 할 계수들이다. 각 전위의 급수 전개는 각 영역에 대한 각기 다른 모드 수 N_1, N_2, N_3, N_4 로 나누어진다. 각 영역의 경계로서 $y=T, y=0$ 과 $y=-L_5$ 인 평면과 각 영역을 분할하는 x 의 구간으로서 $0 < x < L, 0 < x < S_1, S_1 + W_1 < x < S_1 + W_1 + S$ 와 $L - S_2 < x < L$ 에 대하여 경계조건을 적용하여 풀면 $B_j, C_j, D_k, E_k, F_i, K_i, H_i$ 와 I_i 는 A_i 와 J_i 에 종속적인 변수들로 유도된다. 전위함수를 구하기 위해 먼저 A_i 와 J_i 의 계수 값을 행렬의 원소 형태로 정리하여 행렬연산을 이용하여 구하고, 나머지 계수 값들은 A_i 와 J_i 로 정리한 후 A_i 와 J_i 값을 대입하여 순서대로 계산해 낼 수 있다. 이 계수들이 모두 구해지면 식 (1)~(6)에서 급수형태의 전위함수를 완성할 수 있다. 식 (1)~(6)에서 구한 전위함수로부터 도체두께를 고려한 대칭 결합선로의 우모드와 기모드 두가지 전송모드에서 각각의 유효유전율과 특성 임피던스를 구할 수 있다^{[3],[16]}.

III. 1/4 파장 역방향 방향성 결합기 설계

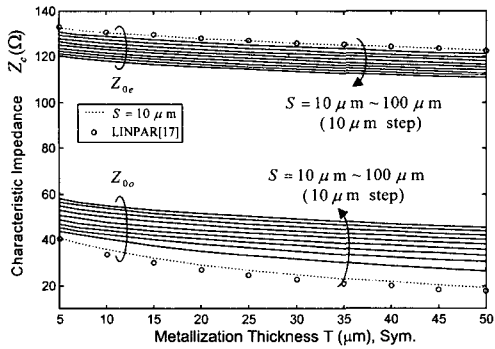
비균질(inhomogeneous) 매질에 있는 결합선로의 순수한 TEM 모드는 주파수 0일 때만 가능하지만, 결합선로에서는 파장에 비해서 결합선로의 간격(S)이 매우 작을 때($S < \lambda_g/20$)를 TEM 모드에 가까운 quasi-TEM 모드로 해석할 수 있다^[14]. 그림 1(a)에서

결합선로를 통해서 진행되는 파는 진행방향인 z 방향으로 진행하므로 실제로는 non-TEM 모드이지만, 파장에 비해서 구조가 작은 마이크로스트립 전송선로는 quasi-TEM 모드를 지원하므로 본 논문에서는 4-포트 회로망의 전압과 전류를 정의하여 해석할 수 있도록 quasi-TEM 모드를 가정하여 해석하였다. 대칭 결합선로에서 1/4파장 역방향 결합기특성을 만족하기 위해서는 우모드와 기모드의 전파상수(propagation constant) β_e, β_o 와 결합선로의 결합길이 L_p 에 대하여 다음 관계식 (7)을 설계조건으로 구할 수 있다^[6].

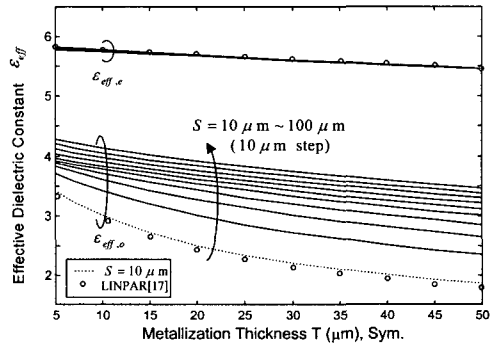
$$\frac{(\beta_e + \beta_o)L_p}{2} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow L_p = \frac{\pi}{(\beta_e + \beta_o)} \cdot L_p = \frac{\lambda_0}{2(\sqrt{\epsilon_{eff,e}} + \sqrt{\epsilon_{eff,o}})} \quad (7)$$

3 dB의 강한 결합을 갖는 1/4 파장 역방향 방향성 결합기를 설계하기 위하여, 도체두께를 고려하지 않은 일반적인 대칭 결합선로에서 우모드와 기모드의 특성임피던스를 구하면 두 결합선로의 폭이 거의 0에 가까워 실제 구현이 어렵게 된다^{[14],[15]}. 본 논문에서는 도체 두께를 고려한 대칭 결합선로를 해석하여, 1/4 파장 역방향 방향성 결합기의 구조에서 선로 간격은 넓히면서도 도체 두께를 높여서 강한 결합을 얻을 수 있는 실제로 구현이 가능한 결합기의 구조를 설계하였다. 1/4 파장 역방향 방향성 결합기를 설계하기 위하여 제작이 가능한 MEMS 회로로서 그림 1(b)와 같이 모델링하고 모드정합방법을 이용한 수치해석을 하였다. 설계에 사용한 치수는 $L_6=510 \mu\text{m}, L_5=10 \mu\text{m}, W_1=W_2=120 \mu\text{m}, \epsilon_1=\epsilon_0, \epsilon_3=3\epsilon_0, \epsilon_6=11.9\epsilon_0, S_1=S_2=L_1=1 \text{ mm}, N_1=N_2=N_3=N_4=45$ 로 정하고, 선로 간격이 $S=10 \sim 100 \mu\text{m}$ 로 변화하고 도체 두께가 $T=5 \sim 50 \mu\text{m}$ 로 변화할 때의 각각의 특성 임피던스와 유효 유전율을 계산하여 그림 2(a), (b)에 나타내었으며, $S=10 \mu\text{m}$ 에 대해 상용 소프트웨어인 LINPAR^[17]과 비교하여, 본 논문의 계산값이 정확함을 보였다. 그림 2(a)에서 선로 간격이 좁아지고 도체 두께가 두꺼울수록 기모드의 특성 임피던스가 작아져서 강한 결합 특성을 가질 수 있는 1/4 파장 역방향 방향성 결합기 설계가 가능해진다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 2(b)로부터 결합선로의 간격이 줄어들면 우모드의 유효 유전율은 거의 변화가

도체 두께를 가진 결합선로를 이용하여 강한 결합특성을 갖는 1/4파장 역방향 방향성 결합기의 설계



(a) 특성 임피던스 $Z_c(\Omega)$
(a) Characteristic impedance



(b) 유효 유전율 ϵ_{eff}
(b) Effective dielectric constant

그림 2. 도체 두께에 따른 특성 임피던스와 유효 유전율의 변화
Fig. 2. Variation of characteristic impedance and effective dielectric constant with metallization thickness.

없지만, 선로 간격이 줄어들고 도체 두께가 두꺼워질수록 기모드의 유효 유전율이 더욱 작아지는 것을 알 수 있다. 이것은 결합선로의 간격이 좁아지고 도체 두께가 두꺼워질수록 기판의 표면에서 공기와 만나게 되는 스트립 선로 사이에 기모드의 전계성분이 집중되기 때문이다.

그림 3~그림 6에 5 GHz를 중심주파수로 한 결합기의 길이를 계산하여 1/4 파장 역방향 방향성 결합기의 특성을 나타내었다. 그림 3에서는 도체 두께에 따른 결합기의 길이 변화를 나타내었다. 정방향 방향성 결합기에서는 도체 두께가 증가함에 따라 결합 길이가 감소하기 때문에, 도체 두께를 증가시켜 결합도를 증가시키면 결합 길이가 짧아질 것이라고 예상 되었는데, 역방향 방향성 결합기에서는 동일한

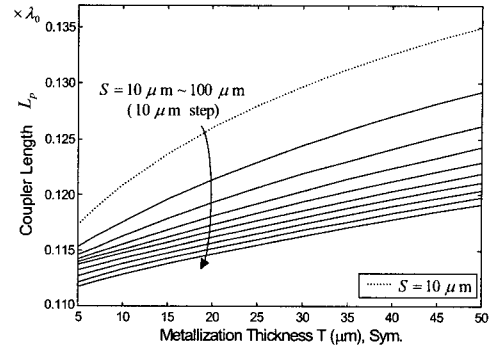


그림 3. 도체 두께 T 에 따른 결합기 길이의 변화
Fig. 3. Variation of coupler length with metallization thickness T .

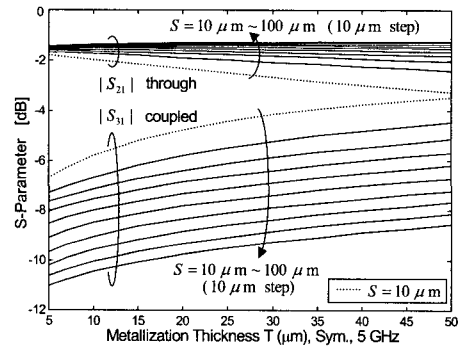


그림 4. 도체 두께 T 에 따른 S 파라미터의 변화
Fig. 4. Variation of S -parameters with metallization thickness T .

결합구조에서 도체 두께가 증가함에 따라 결합기의 길이가 증가한다는 새로운 사실을 확인하였다.

그림 4는 도체 두께에 따른 S parameter S_{21} , S_{31} 의 변화를 나타낸 것으로 선로 간격이 좁아지고 도체 두께가 커지면 S_{31} (결합도 C)이 증가하여 3 dB 지점에 가까워지는 것을 알 수 있다. 또한 그림 5에는 도체 두께에 따른 결합도 D 를 나타내었으며, 선로 간격이 좁아지고 도체 두께가 두꺼울수록 지향도 D 는 높아지는 것을 알 수 있다. 그림 6에는 중심주파수 5 GHz에서 계산된 두 출력단자 사이의 위상차를 나타내었다. 표 1에 도체 두께가 각각 $T=5 \mu\text{m}$ 와 $50 \mu\text{m}$ 일 때 역방향 결합기의 결합특성을 비교하였다. $T=5 \mu\text{m}$ 에 대해서는 상용 소프트웨어인 IE3D^[18]를 사용하여 계산한 값을 비교하였으며, 전체 벽을 가정하는 것에서 발생하는 오차를 고려하면 두 값의 차이가 크지 않다는 것을 확인하였다. 결합선로의

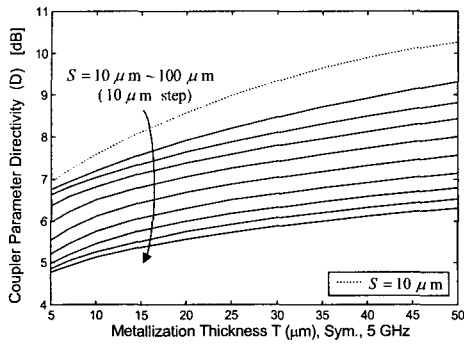


그림 5. 도체 두께 T 에 따른 지향도 D 의 변화
Fig. 5. Variation of directivity with metallization thickness T .

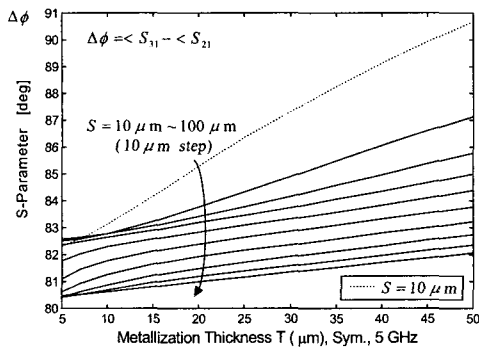


그림 6. 중심주파수 5 GHz에서 계산된 두 출력단자 사이의 위상차
Fig. 6. Calculated phase differences between output-ports in center frequency of 5 GHz.

표 1. 설계된 역방향 결합기의 도체 두께 T 에 의한 특성변화(5 GHz)
Table 1. Characteristic variation of a designed backward-wave directional couplers due to metallization thickness(5 GHz).

S=10 μm 인 경우	T				%
	5 μm 일 때		50 μm 일 때		
	㉠ 본논문	IE3D[18]	㉡ 본논문	IE3D[18]	
결합도 C	6.68 dB	7.14 dB	3.49 dB	3.44 dB	-47.7 %
지향도 D	6.94 dB	7.27 dB	10.27 dB	10.14 dB	47.9 %
절연도 I	13.62 dB	14.69 dB	13.76 dB	13.58 dB	1.0 %
포트 간 위상차 $\Delta\phi$	82.32°	83.92°	90.67°	92.39°	10.1 %
Lp	7.03 mm		8.10 mm		15.1 %

선로가 동일한 간격이라도, 도체 두께의 변화에 따

라서 결합도가 약 48 % 정도까지 증가되며, 도체 두께가 증가할수록 설계된 위상 90°에 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 1/4 파장 역방향 방향성 결합기를 도체 두께를 고려하여 설계하게 되면 90° 위상차이기의 제작이 가능하다는 것을 나타낸다. 즉, 도체 두께가 두꺼울수록 결합기의 길이는 다소 늘어나지만 충분히 제작이 가능한 선로 간격으로 결합도를 크게 증가시키면서 90° 위상 차이도 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전송선로의 도체 두께를 고려한 대칭 결합선로를 모드정합법을 이용하여 이론적으로 해석하고, 5 GHz를 중심주파수로 하는 3 dB 결합도, 90° 위상차를 갖는 1/4파장 역방향 방향성 결합기를 설계하였다. 역방향 방향성 결합기에서는 정방향 방향성 결합기와는 반대로 도체 두께가 두꺼울수록 결합기의 길이가 다소 길어진다는 새로운 사실을 얻었으며, 충분히 제작이 가능한 선로 간격에서도 결합도를 크게 증가시켜 -3 dB와 같은 강한 결합을 얻을 수 있다는 해석결과를 얻었다. 또한 이때, 지향도 D 또한 증가하면서 절연도 I 는 큰 차이가 없고, 90° 위상차이기의 제작에 적절한 위상차이도 얻을 수 있었다. 이러한 결과로부터 도체 두께를 이용하면, 결합선로로 구성된 1/4 파장 역방향 방향성 결합기의 단점인 강한 결합특성을 갖는 회로제작의 어려움과 낮은 지향도 등을 개선할 수 있다는 사실을 확인하였다. 본 논문의 연구결과는 도체 두께를 고려하여 설계의 정밀도를 더욱 높이고 마이크로파 집적 회로를 보다 정확하게 설계하고 제작하는데 널리 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] N. H. Zhu, W. Qiu, E. Y. B. Pun and P. S. Chung, "Quasi-Static Analysis of Shielded Microstrip Transmission Lines with Thick Electrodes", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp. 288-291, Feb. 1997.
[2] G. G. Gentili, G. Macchiarella, "Quasi-static Analysis of Shielded Planar Transmission Lines with

- Finite Metallization Thickness by a Mixed Spectral-Space Domain Method", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, pp. 249-255, Feb. 1994.
- [3] H. Jin, R. Vahldieck, M. Belanger and Z. Jacubczyk, "A Mode Projecting Method for the Quasi-Static Analysis of Electrooptic Device Electrodes Considering Finite Metalization Thickness and Anisotropic Substrate", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, pp. 2306-2314, Oct. 1991.
- [4] W. Heinrich, "Quasi-TEM Description of MMIC Coplanar Lines Including Conductor-Loss Effects", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, pp. 45-52, Jan. 1993.
- [5] T. Chang, C. Tan, "Analysis of a Shielded Microstrip Line with Finite Metallization Thickness by the Boundary Element Method", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, pp. 1130-1132, Aug. 1990.
- [6] F. J. Schmückle, R. Pregla, "The Method of Lines for the Analysis of Planar Waveguides with Finite Metallization Thickness", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 32, pp. 107-111, Jan. 1991.
- [7] L. Zhu, E. Yamashita, "New Method for the Analysis of Dispersion Characteristics of Various Planar Transmission Lines with Finite Metallization Thickness", *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 1, pp. 164-166, Jul. 1991.
- [8] R. Garg, I. J. Bahl, "Simple and accurate formulas for microstrip with finite strip thickness", *Proc. IEEE*, vol. 65, pp. 1611-1612, 1977.
- [9] E. Yamashita, K. Atsuki, "Analysis of Thick-Strip Transmission Lines", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 19, pp. 120-122, Jan. 1971.
- [10] A. Khebir, A. B. Kouki and R. Mittra, "Higher Order Asymptotic Boundary Condition for the Finite Element Modeling of Two-Dimensional Transmission Line Structures", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, pp. 1433-1437, Oct. 1990.
- [11] W. T. Weeks, "Calculation of Coefficients of Capacitance of Multiconductor Transmission Lines in the Presence of a Dielectric Interface", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 18, pp. 35-43, Jan. 1970.
- [12] F. Bögelsack, I. Wolff, "Application of a Projection Method to a Mode-Matching Solution for Microstrip Lines with Finite Metallization Thickness", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 35, pp. 918-921, Oct. 1987.
- [13] E. G. Cristal, "Coupled Transmission-Line Directional Couplers with Coupled Lines of Unequal Characteristic Impedances", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 14, pp. 337-346, Jul. 1966.
- [14] R. Mongia, I. Bahl and P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled-Line Circuits*, Artech House, Boston, 1999.
- [15] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, second edition, John Wiley & Sons. Inc., 1998.
- [16] C. Nguyen, "Broadside-Coupled Coplanar Waveguide and Their End-Coupled Band-Pass Filter Application", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 40, pp. 2181-2189, Dec. 1992.
- [17] A. R. Djordjevic, M. B. Bazdar, T. K. Sarkar and R. F. Harrington, *LINPAR for Windows: Matrix parameters for multiconductor transmission lines*, Artech House, Norwood, MA, 1996.
- [18] *IE3D*, Release 8, Zeland Software, Inc., January 2001.

홍 익 표

1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 정보통신연구소 책임 연구원
2003년 3월~현재: 공주대학교 정보통신공학부 전임강사
[주 관심분야] 전자기 수치해석, 무선통신

윤 남 일



1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 (공학박사)
1987년 2월~1994년 2월: 삼성전자

정보통신부문 선임연구원

1994년 3월~현재: 명지전문대학 정보미디어과 부교수
[주 관심분야] 전자기 수치해석, 무선 및 모바일통신

육 중 관



1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1996년: The University of Michigan (공학박사)

1997년 1월~1998년 10월: Research Fellow (Univ. of Michigan)

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer

1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 조교수

2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학부 부교수

[주 관심분야] 마이크로파 소자 및 안테나, 초고주파 통신 시스템, 수치해석, RF MEMS 설계, 전자파환경 (EMI/EMC), 병렬컴퓨팅