

論文95-32A-4-5

## 차폐된 서스펜디드 셉스테레이트 코플래너 도파관 해석

## (Analysis of the Shielded Suspended Substrate Coplanar Waveguide)

安堯銀, 李相高

(Kwang Eun Ahn, and Sang Seul Lee)

## 요약

차폐된 서스펜디드 셉스테레이트 코플래너 도파관(SSCPW)의 특성을 준 TEM모드로 근사화 하여 포인트 매칭법을 적용하여 해석한다. SSCPW의 공기영역과 유전체의 두께, 그리고 스트립의 폭을 변화시키면서 특성 임피던스와 실효 유전상수를 계산한다. SSCPW의 좌우 접지 스트립을 0에 가깝게 하여 구한 특성 임피던스와 실효 유전상수는 기존의 변분법으로 구한 결과와 아주 잘 일치하였다.

## Abstract

The characteristics of the shielded suspended substrate coplanar waveguide(SSCPW) are analyzed by applying the point matching method to the quasi-TEM mode approximation. The characteristic impedances and the effective dielectric constants are also calculated by changing the height of air and dielectric layer, and the strip width of SSCPW. Approaching the side strip width of SSCPW to zero, values of characteristic impedances and effective dielectric constants are agreed well with the results obtained by the variational method.

## I. 서론

마이크로스트립 유형 전송선로는 1960년대부터 지금까지 많은 연구가 진행되고 있다. 1980년초 Itoh는 주파수영역에서 모먼트법을 적용하여 마이크로스트립 유형의 전송선로를 해석하였으며, 주파수가 높지않을 경우 준 TEM모드로 해석한 결과와 거의 일치함을 확인하였다<sup>[1][2]</sup>. 특히 Y. C. Shih는 전송 스트립의 폭이 아주 좁을 경우 약 20GHz까지 준 TEM모드에 의한 해석결과를 설계에 이용할 수 있음을 확인하였다.<sup>[3]</sup>

최근 고주파 회로용 전송선로를 설계할 경우 마이크로스트립선로보다는 코플래너 도파관이 많이 사용된다. 코플래너 도파관이 사용되는 가장 큰 이유는 접지하는 방법이 마이크로스트립선로 보다 간단하기 때문이다. 즉 마이크로스트립선로는 유전체에 구멍을 뚫고 접지시켜야 하지만 코플래너 도파관은 동일한 평면에 있는 접지 스트립에 직접 연결하여 쉽게 접지할 수 있다. 또한 마이크로스트립선로로 높은 특성 임피던스를 만들어야 할 경우 마이크로스트립선로의 폭을 극단적으로 줄이거나 유전체층의 두께를 변화시켜야하는 문제점이 있다. 그러나 코플래너 도파관은 스트립의 폭과 슬롯(slot)의 폭을 변화시켜 임의의 특성 임피던스를 쉽게 얻을 수 있다. 코플래너 도파관은 주파수가 높아지면 유전체에 의한 손실이 큰 단점이 있으나 이러한 문제점은 서스펜디드 셉스테레이트 코플래너 도파관(SSCPW: Suspended Substrate Coplanar Wave-

\* 正會員, 漢陽大學校 電子通信科

(Dept. of Electronic Communication Eng., Han-yang University)

接受日字: 1994年 11月 18日

guide)을 이용하여 해결할 수 있다. SSCPW는 유전체에 의한 손실이 작고 유전체 양면을 사용할 수 있다. 이러한 장점을 이용하여 브로드사이드 결합 스트립라인 필터(broadside coupled stripline filter)를 구현하는데 이용될 수 있다.

초기에 스트립유형 전송선로의 전파상수나 특성 임피던스등의 주요 파라미터들은 주로 실험으로 구하였다. 특히 Shu는 서스펜디드 셉스트레이트 마이크로스트립선로의 특성 파라미터들을 실험적으로 구하고 이를 기초로 해석적 방정식을 정립하였다<sup>[4], [5]</sup>. 최근에 컴퓨터가 크게 발전됨에 따라 스트립유형 전송선로의 특성을 보다 쉽게 해석하기 위한 다양한 수치해석 방법이 연구되고있다. 그 중에서 많이 쓰이는 준 TEM모드에 등각사상법을 적용한 해석법은 복잡한 모델에는 부적합하며 컴퓨터 처리시간이 매우 길다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 개발된 해석법이 변분법과 포인트매칭법이다. 이들 해석법은 복잡한 구조에도 쉽게 적용할 수 있다. 두가지 해석법 중에서 높은 정확성이 요구되는 경우는 변분법을 적용해야하나 설계시 제작 오차를 고려한다면 포인트 매칭법 적용이 보다 효과적이다.

이 연구에서는 SSCPW를 이용한 MMIC 소자 구현에 앞서 SSCPW 내에 존재하는 전자계를 준 TEM모드로 근사화하고 포인트매칭법을 적용하여 특성을 해석한다. SSCPW의 공기와 유전체의 효과를 밝히기 위해서 공기층과 유전체층의 두께를 변화시키면서 특성 임피던스와 실효 유전상수를 구한다. 그리고 SSCPW의 좌우 접지스트립과 전송 스트립간의 간격이 SSCPW의 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 좌우 스트립의 폭과 스트립 간의 간격을 변화시키면서 특성 임피던스와 실효 유전상수를 구한다.

## II. 이론적 해석

### 1. 전위 방정식

그림 1.과 같이 구형도파관(WR-90)으로 차폐된 SSCPW의 특성을 준 TEM모드로 근사화하여 포인트매칭법을 적용하여 해석한다. 여기서 전송 스트립과 접지 스트립은 두께가 없는 완전도체로 가정하고 전자계의 시간에 대한 변화는  $e^{j\omega t}$ 로 가정한다.

SSCPW의 내부 전자계는 다음의 Helmholtz 방정식을 만족한다.

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (1a)$$

$$\nabla^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (1b)$$

SSCPW가 파의 진행방향  $z$ 에 따라 균일한 구조를 갖

고 TEM모드만 존재한다고 가정하면 식(1)의 해는 다음의 스칼라 전위에 대한 라플라스 방정식으로 구할 수 있다<sup>[6]</sup>.

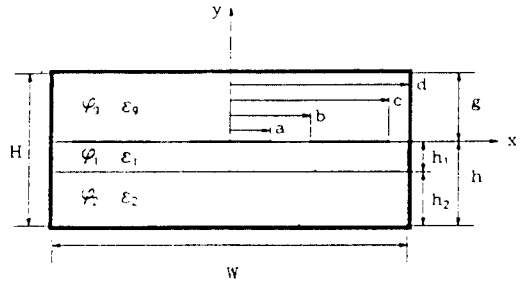


그림 1. SSCPW의 구조

Fig 1. The geometry of the SSCPW.

$$\nabla^2 \phi(x, y) = 0 \quad (2)$$

여기서  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  이다. 식(2)의 해를 구하기 위해 필요한 경계조건은 다음과 같다.

$$\phi(x, y) = 0 \quad \begin{cases} x = \pm d \\ y = g, -h \end{cases} \quad (3a)$$

$$\phi(x, y=0^+) = \phi(x, y=0^-) \quad (3b)$$

$$D_y(x, y=0^+) - D_y(x, y=0^-) = \rho(x) \quad (3c)$$

$$\phi(x, y=-h_1+0^+) = \phi(x, y=-h_1+0^-) \quad (3d)$$

$$D_y(x, y=-h_1+0^+) = D_y(x, y=-h_1+0^-) \quad (3e)$$

식(3a)의 경계조건을 식(2)의 일반해에 적용하면 각 영역의 전위 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_g = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sinh [k_n(y-g)] \cos(k_n x) \quad (4a)$$

$$\phi_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{B_n \sinh [k_n(y+h_1)]}{C_n \cosh [k_n(y+h_1)]} \right\} \cos(k_n x) \quad (4b)$$

$$\phi_2 = \sum_{n=1}^{\infty} F_n \sinh [k_n(y+h)] \cos(k_n x) \quad (4c)$$

여기서  $k_n = (2n-1)\pi/2d$  이며,  $\phi_i$ 에서 첨자  $i$ 는 SSCPW의 각 영역을 나타낸다. 식(4a)와 (4b)에 식(3b)의 경계조건을 적용하면

$$A_n \sinh(-k_n g) = B_n \sinh(k_n h_1) + C_n \cosh(k_n h_1) \quad (5a)$$

이고 식(4b)와 식(4c)에 식(3d)의 경계조건을 적용하면



밀도는 다음과 같다.

$$D_{g,y} = -\sum \epsilon_n k_n A_n \cosh[k_n(y-g)] \cos(k_n x) \quad (15a)$$

$$D_{g,x} = \sum \epsilon_n k_n A_n \sinh[k_n(y-g)] \sin(k_n x) \quad (15b)$$

$$D_{1,x} = \sum \epsilon_1 k_n \left\{ + \frac{B_n \sinh[k_n(y+h_1)]}{C_n \cosh[k_n(y+h_1)]} \right\} \sin(k_n x) \quad (15c)$$

$$D_{2,x} = \sum \epsilon_2 k_n D_n \sinh[k_n(y+h)] \sin(k_n x) \quad (15d)$$

$$D_{2,y} = -\sum \epsilon_2 k_n D_n \cosh[k_n(y+h)] \cos(k_n x) \quad (15e)$$

여기서  $D_{i,j}$ 의 첨자  $i$ 는 영역을 나타내고  $j$ 는 전속밀도의 방향성분을 나타낸다.

식(13)으로부터 단위길이당 커패시턴스는 다음과 같다.

$$C = 2 \int_{x \geq 0} \vec{D} \cdot d\vec{s} \quad (16)$$

식(16)을 계산하면 커패시턴스는 다음 식으로 된다.

$$C = 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \sum \left\{ \begin{array}{l} -\epsilon_n A_n \cosh(k_n g) \\ + \epsilon_1 B_n \cosh(k_n h_1) - 1 \\ + \epsilon_1 C_n \sinh(k_n h_1) \\ + \epsilon_2 D_n \cosh(k_n h_2) \end{array} \right\} \quad (17)$$

또한 실효 유전상수와 특성 임피던스는 다음 식으로 주어진다<sup>[7]</sup>.

$$\epsilon_{eff} = \frac{C}{C_0} \quad (18)$$

$$Z_0 = \frac{1}{v\sqrt{CC_0}} \quad (19)$$

여기서  $C_0$ 는  $\epsilon_g = \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_0$ 인 경우의 커패시턴스이며  $\epsilon_0$ 와  $v$ 는 각각 자유공간의 유전율 및 광속도이다.

### III. 결과 및 고찰

이 연구에서 해석한 SSCPW는 WR-90 구형도파관으로 차폐되었으며 SSCPW의 각 파라미터 값은 다음 표와 같다. WR-90의 내부 높이  $H$ 는 10.16mm이고 내부 폭  $W$ 는 22.86mm이다.

그림 3a는  $a/d=0.1$ ,  $b/d=0.2$ ,  $c/d=0.9$ 이고 유전체의 높이  $h_1/H$ 를 0.05로 고정하고 공기층의 두께  $g$ 를 변화시키면서 특성 임피던스를 계산한 것이다. 공기층의 두께를 증가시키에 따라 특성 임피던스가 서서히 감소하다가  $g/H=0.7$  정도에서 특성 임피던스가 급격하게 감소한다.

표 1. SSCPW의 크기  
Table 1. Dimension of SSCPW.

구분	크기(mm)
a	1.143
b	2.286
c	10.287
d	11.430
g	5.080
h2	0.508
h1	4.572

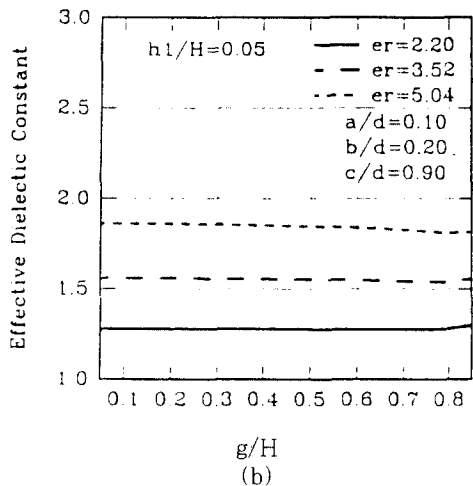
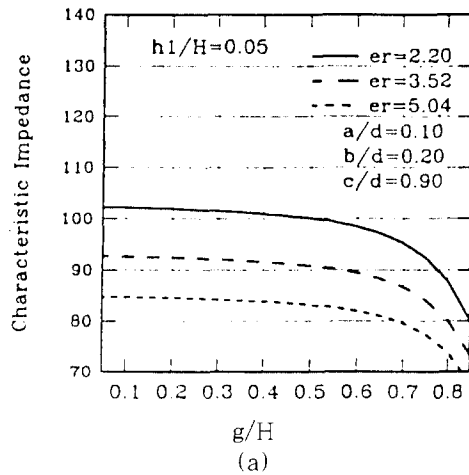


그림 3. 공기층의 두께 변화에 따른 특성파라미터  
(a) 특성임피던스 (b) 유효유전상수

Fig. 3. Characteristic parameters as a function of  $g/H$ .  
(a) characteristic impedance (b) effective dielectric constant

그림 3b.는 그림 3a.와 동일한 크기와 조건에서 실

효 유전상수를 계산한 것이다. 실효 유전상수는 거의 일정하다가  $g/H = 0.85$  이상에서 증가한다.

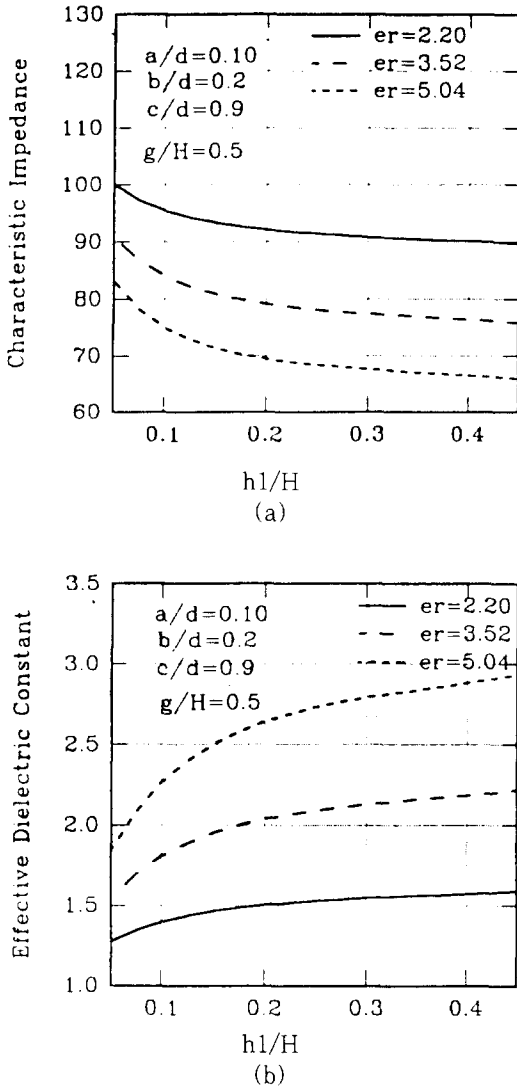


그림 4. 유전체 두께 변화에 따른 특성파라미터  
(a) 특성임피던스 (b) 유효유전상수  
Fig. 4. Characteristic parameters as a function of  $h1/H$ .  
(a) characteristic impedance (b) effective dielectric constant

그림 4a.는  $a/d=0.1$ ,  $b/d=0.2$ ,  $c/d=0.9$ 이고  $g/H=0.5$ 인 경우 유전체의 두께  $h1$ 을 증가시키면서 특성 임피던스를 계산한 것이다. 유전체의 두께가 두꺼워질 수록 특성 임피던스는 감소한다. 그림 4b.는 그림 4a.와 같은 구조에서 실효 유전상수를 나타낸 것이다. 유전체가 두꺼워질 수록 실효 유전상수는 계속 증가하여 코플래너 도파관의 실효 유전상수에 수렴한다.

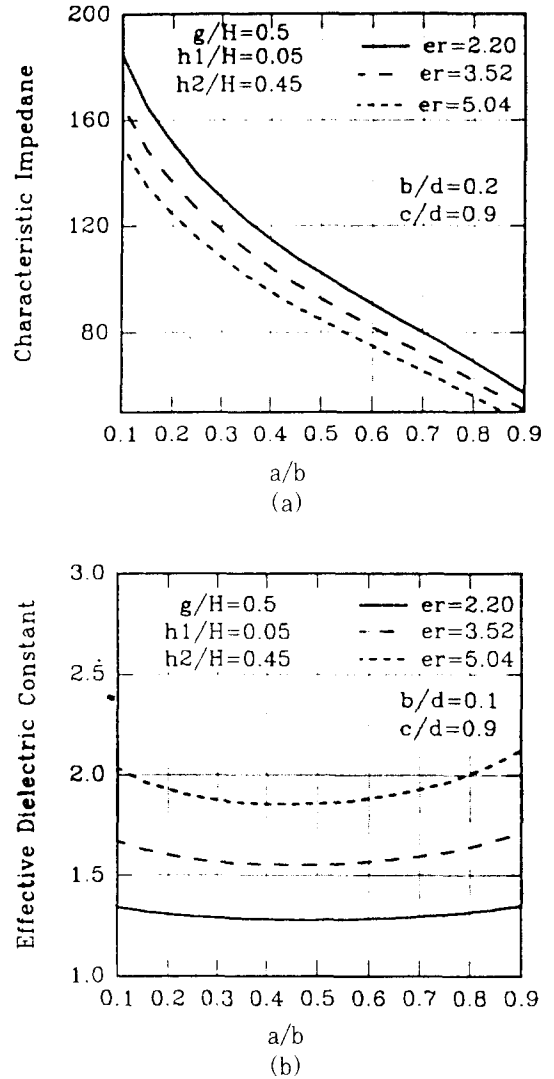


그림 5. 전송스트립 폭 변화에 따른 특성파라미터  
(a) 특성임피던스 (b) 유효유전상수  
Fig. 5. Characteristic parameters as a function of  $a/b$ .  
(a) characteristic impedance (b) effective dielectric constant

그림 5a.는  $g/H=0.5$ ,  $h1/H=0.05$ ,  $h2/H=0.45$ 이고  $b/d=0.2$ ,  $c/d=0.9$ 인 경우 전송 스트립의 폭의 변화에 따른 특성 임피던스의 변화를 계산한 것이다. 전송 스트립의 폭이 증가함에 따라 특성 임피던스가 급격하게 감소한다. 그림 5b.는 그림 5a.와 동일한 조건에서 실효 유전상수를 계산한 것이다. 실효 유전상수는  $a/b=0.5$ 에서 최소값을 갖는다.

그림 6a.는  $g/H=0.5$ ,  $h1/H=0.05$ ,  $h2/H=0.45$ ,  $a/d=0.1$ 이고 접지 스트립의 폭을 0.1로 고정하고

전송 스트립과 접지 스트립사이의 간격을 변화시키면서 계산한 특성 임피던스이다. 간격이 클 수록 특성 임피던스는 증가한다. 그림 6b.는 그림 6a.와 동일한 크기에서 구한 실효 유전상수이다. 간격이 커질 수록 실효 유전상수는 감소한다.

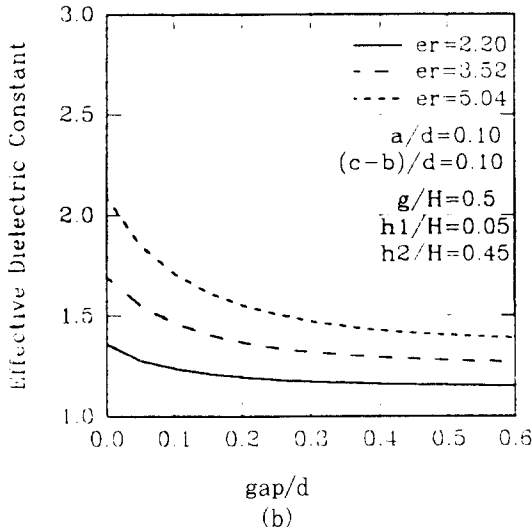
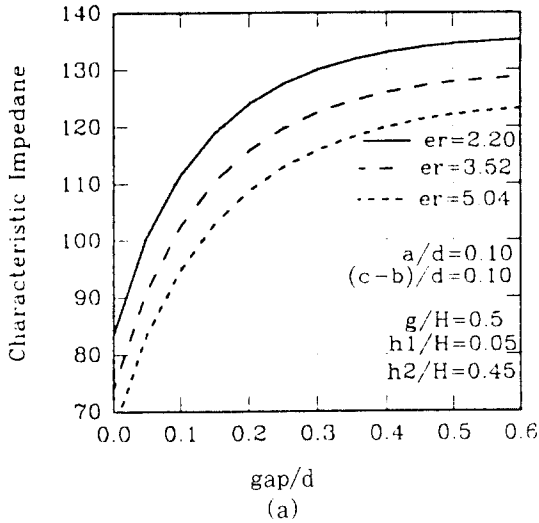


그림 6. 스트립 사이 간격 변화에 따른 특성파라미터  
 (a) 특성임피던스 (b) 유효유전상수  
 Fig. 6. Characteristic parameters as a function of gap/d.  
 (a) characteristic impedance (b) effective dielectric constant

IV. 결론

WR-90도파관으로 차폐된 SSCPW의 특성을 준

TEM모드에 대해서 포인트매칭법을 적용하여 해석하였다.

SSCPW의 유전체에 대한 영향을 고찰하기 위해서 유전체층의 두께를 증가시키면서 특성 임피던스와 실효 유전상수를 구하였다. 유전체층의 두께를 증가시키면 특성 임피던스는 감소하고 비유전율은 증가한다.

SSCPW의 전송스트립과 접지스트립의 간격에 따른 영향을 고찰하기 위해서 간격을 증가시키면서 특성 임피던스와 실효 유전상수를 구하였다. SSCPW의 특성 임피던스와 실효 유전상수는 전송스트립과 접지스트립의 간격이 커질수록 서스펜디드 셉스트레이트 마이크로스트립 전송선의 특성 임피던스와 실효 유전상수로 수렴한다.

실제 SSCPW를 사용하여 전송선을 설계하는 경우 전송 스트립의 폭, 전송 스트립과 접지 스트립의 간격을 변화시켜 원하는 특성 임피던스와 실효 유전상수를 쉽게 얻을 수 있으므로 인쇄기판(PCB)등에 유용하게 이용될 수 있다. 또한 유전체의 두께를 변화시켜 보다 다양한 특성을 얻을 수 있으며 능동소자에 접속할 경우 다른 전송선을 이용하는 것보다 쉽게 정합할 수 있다.

참고 문헌

- [1] T. Itoh, "Analysis of Microstrip Resonator," *IEEE Trans. MTT.*, Vol. MTT-22, pp. 946-952, Nov. 1974.
- [2] T. Itoh, *Numerical Techniques for Microwave Passive Structures*, John Wiley & Sons, 1980.
- [3] Y.C. Shih, T. Itoh, "Analysis of conductor-backed coplanar waveguide," *Electronics Letters* 10th, Vol. 18, No. 12, June 1982.
- [4] Y. Shu, Y. Qi, Y. Wang, "Analysis Equations for Suspended Substrate Microstrip Line and Broadside-Coupled Stripline," *IEEE MTT-S.*, Dig., pp. 693-696, 1987.
- [5] Y. Shu, Y. Wang, K. Gu, "Synthesis Equations for Suspended Substrate Microstrip Line and Broadside-Coupled Strip Line," *IEEE MTT-S.*, Dig., pp. 331-344, 1988.
- [6] Rober E. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, 1991

[7] T. Edwards, *Foundations for Microstrip circuit design*, John Wiley & Sons 2nd ed., 1991.

[8] 황 정섭, 백 경훈, 이상설, "차폐된 서스펜디드 셉스테레이트 스트립 전송선 해석," 전자공학회 논문지, 제 31권, A편, 제 2호, 1994년 2월

#### 저 자 소 개



安垸鏞(正會員)

1968년 1월 11일생. 1990년 2월 한양대학교 전자통신과 졸업(학사). 1992년 2월 한양대학교 전자통신과 대학원 졸업(석사). 1995년 현재 한양대학교 전자통신과 박사과정 재학중. 주관심분야는 안테나 공학, 전자파 이론 및 수치해석 임

李相高(正會員) 第31卷 A編 11號 參照

현재 한양대학교 전자통신과 교수