
동축 형태의 스텝 임피던스 공진기를 이용한 필터 설계 및 제작

이정남*

The design and Fabrication of Bandpass Filter Using Step Impedance Resonators
of Coaxial Type

Jung-Nam Lee*

이 논문은 2007년도 전남대학교 연구년 교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문은 필터의 구현 방식 중 UIR 방식과 SIR 방식을 비교 제작하여 두 가지 방법 모두 유용하다는 것을 나타내는 것에 그 목적이 있다. UIR 방식은 구조가 간단하여 원하는 특성을 얻을 수 있다는 점에서 많이 쓰여 왔다. 그러나 업체들의 요구 기준을 예전과 비교해 볼 때, 가격은 좀 더 싸게, 크기는 좀 더 작게, 성능은 더 좋은 특성이 나오기를 기대한다. 이러한 점에서 SIR 방식은 UIR 방식보다 좀 더 작은 크기지만 비슷한 특성을 나타내므로 경쟁력에서 좀 더 우위를 차지할 수 있으리라고 예상된다.

본 논문에서는 이러한 조건을 바탕으로 SIR 방식과 UIR 방식을 설계 및 제작하여 비교하였다. 제작 기준으로는 삽입 손실이 0.8dB 이하이고, 반사 손실은 20.0dB 이상이며, 평탄도는 0.3dB 이내로 하였다. 또한 중심 주파수는 현재 CDMA(SKT)에서 사용되고 있는 TX Band인 881.5MHz 대역으로 정하였고, 대역폭을 25.0MHz의 동일한 조건에서 비교하였다.

ABSTRACT

The present paper is purposeful that I compare the materialization method of the filter of UIR and SIR, then make two filters of different methods, so both are useful. The structure of the method of UIR is simple, so it is used a commercial point of view that the client gets the characteristics what he wants. However, the needs of companies when compared to the same standards, a little more cheaply in price, a little smaller in size, better performance characteristics are expected. In this regard, the method of SIR is smaller than UIR in size, but it shows the similar characteristics of UIR, so it is expected that holds a dominant position in competitive power.

In this paper, based on these conditions, I compared the methods of SIR and UIR after the design and production. The standards are Insertion Loss is less than 0.8dB, Return Loss is above 20.0dB, and the Ripple is within 0.3dB. The center frequency is settled 881.5MHz band that TX Band is used by CDMA(SKT). I compared in the same conditions in Bandwidth 25.0MHz.

키워드

SIR, Bandpass Filter, Coaxial, CDMA

I. 서 론

이동통신기기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 핵심 RF 부품으로는 안테나, 전력 증폭기, 필터, 혼합기 등이 있는데, 본 논문에서는 이러한 핵심 부품 중에서 UHF 대역 필터의 설계 및 제작에 대해 다루고자 한다.

이러한 필터를 합성하는 방법에는 크게 영상파라미터 방법(Image Parameter Method)과 I/L 방법(Insertion Loss Method)이 있는데 영상파라미터 방법을 사용한 필터 합성은 여러개의 간단한 Two-port 필터를 종속함으로써 원하는 차단 주파수에 대한 감쇄 특성을 얻을 수 있지만 동작 주파수 범위 안에서 원하는 결과를 얻기 위해서는 여러번 반복해야 한다는 단점이 있다. 반면에 I/L 방법에 의한 필터 합성은 회로망 합성(Network Synthesis) 기법을 이용하여 요구하는 주파수 응답을 만족하는 필터를 설계하는 기법이다.[1][2][3]

즉, 임피던스와 주파수로 정규화한 프로토타입 저역 통과필터를 합성하고 이를 변환하여 고역통과필터나 대역통과필터 및 대역저지필터를 합성한다.[4] 이것은 분포정수 소자로 구성된 필터로 마이크로스트립 선로와 같은 전송선로를 설계하려면 Richard 변환과 Kuroda 등식을 사용하여 분포회로로 변환해야 한다.

최근에는 복잡한 계산을 자동으로 처리해주는 컴퓨터의 등장으로 필터를 합성할 때 주로 I/L 방법을 사용한다. 필터 합성의 조건은 주파수 ω 에 관한 진폭과 위상 특성이 주어지면 이 특성에 알맞은 함수를 구하는 것이다. 이 함수를 얻는 과정을 근사이론이라 한다. I/L 방법에서 통과 대역과 저지 대역에서 진폭 특성과 위상 특성에 따라 최소 I/L이 가장 중요하며 2차 응답(Binomial response), 즉 Butterworth 특성을 사용하고 급격한 차단 특성이 중요시될 때에는 Chebyshev 특성을 사용할 수 있다. 만약 선형 위상 특성이 중요시 되면 선형 위상 필터를 설계하여 우수한 위상 특성을 얻는다. 이와 같은 경우에 I/L 방법을 사용하면 필터의 성능을 비교적 간단한 방법으로 향상시킬 수 있다.[2][5] 근사법에서는 저역통과 필터의 경우를 다루고, 나머지 필터는 저역통과를 주파수 변환하여 합성한다. 필터는 통과대역의 진폭 특성에 따라 통과대역에서 진폭특성이 평탄한 Butterworth 필터, 그리고 통과대역에서 진폭 특성이 동일한 리플을 갖는 Chebyshev 필터로 크게 나뉘어진다.[6][7] 필터의 구현에 있어서도 고조파 억제기능이 좋은 SIR을 같이 사

용하는 기법과 원형동축형 보다는 구형동축형으로 구현하는 설계기법이 현 단계에서는 요구 되고 있다.

본 논문에서는 I/L 방법을 이용한 Chebyshev 특성을 사용하여 현재 CDMA(SKT)에서 사용되고 있는 TX Band인 881.5MHz의 중심 주파수를 갖는 2가지 Coaxial Resonators Type의 대역통과필터 설계 및 비교를 서술해 보았다.

II. Coaxial Type 공진기 설계 이론

2.1 스텝 임피던스 공진기(SIR)의 공진 특성

그림 1은 Coaxial Type 공진기의 구조적 변화를 나타낸 것으로서 (a)는 $\lambda/4$ UIR이고 (b)는 외부도체가 정방형인 SIR이다.

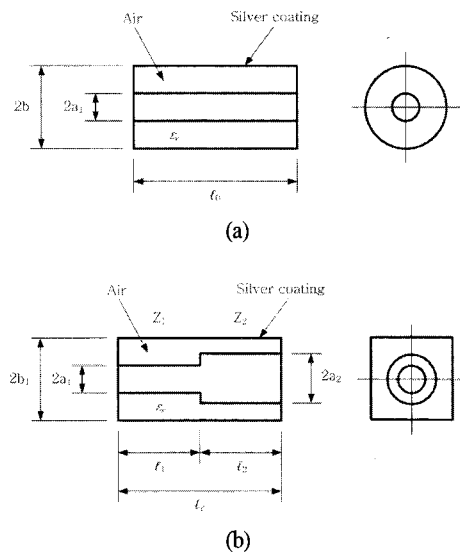


그림 1. Coaxial Type 공진기의 구조들
(a) $\lambda/4$ UIR (b) 외부도체가 정방형인 SIR
Fig. 1 The Structures of Coaxial Type Electric Resonator (a) UIR where $\lambda/4$ (b) SIR where The External Conductor is The Square

먼저 그림 1에서 SIR을 이해하기 위해 가장 기본적인 원형동축형 UIR에 대해 알아보았다. 여기서 l_1, l_2, l_1, l_0 는 물리적인 길이이다. 스텝 임피던스 공진기는 특성 임피던스가 Z_1 또는 어드미턴스가 Y_1 이고 길이가 l_1 인 전

송선로와 특성 임피던스가 Z_2 또는 어드미턴스가 Y_2 이고 길이가 l_2 인 전송선로로 구성되어져 있다. 파라미터 K 는 임피던스 비율 Z_2/Z_1 또는 Y_1/Y_2 로 정의된다. 그러므로 $K=1$ 인 경우가 **UIR**이 되고, **UIR**은 **SIR**의 특수한 경우로 고찰될 수 있다. 공진기의 개방면에서 본 입력 어드미턴스 Y_i 는

$$Y_i = jY_2 \frac{Y_2 \tan \beta l_1 \tan \beta l_2 - Y_1}{Y_2 \tan \beta l_1 + Y_1 \tan \beta l_2} \quad (1)$$

이 되고, 이때 공진조건에 의해서 $Y_i = 0$ 이어야 하므로 식 (1)로부터

$$Y_2 \tan \beta l_1 \tan \beta l_2 - Y_1 = 0 \quad (2)$$

이 되어야 한다. 따라서 식 (2)로부터

$$\tan \beta l_1 \tan \beta l_2 = Y_1/Y_2 = Z_2/Z_1 \equiv K \quad (3)$$

이다. 이때

$$\beta = \sqrt{\epsilon_r} 2\pi/\lambda_0$$

$$Z_1 = 1/Y_1 = 60 \ln(b_1/a_1) / \sqrt{\epsilon_r}$$

$$Z_2 = 1/Y_2 = 60 \ln(b_2/a_2) / \sqrt{\epsilon_r}$$

이다. 그리고 식 (3)으로부터

$$l_2 = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{K}{\tan \beta l_1} \right)$$

가 된다. 그러므로 **SIR**의 전체 길이 l_t 는

$$l_t = l_1 + l_2 = l_1 + \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{K}{\tan \beta l_1} \right) \quad (4)$$

로 표현될 수 있다.

2.2 SIR의 외형에 따른 특성 비교

그림 1에서 **SIR**의 외형에 대한 특성을 비교해 보기 위해 동축 공진기의 소형화를 위한 파라미터로서 축소계수 S 를 도입한다. 파라미터 S 는 공진기 길이 비율 $LSIR/LUIR$ 로 정의되고, 이때 $LSIR$ 과 $LUIR$ 은 각각 **SIR**과 **UIR**의 전기적 길이를 나타낸다. $LSIR$ 의 최소값은

$LUIR = \beta l$ 이므로

$$L_{SIR.min} = 2 \tan^{-1} \sqrt{K} \quad (5)$$

가 되고, $LUIR = \pi/2$ 이므로

$$S = \frac{L_{SIR}}{L_{UIR}} = \frac{4}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{K} \text{ 가 된다.}$$

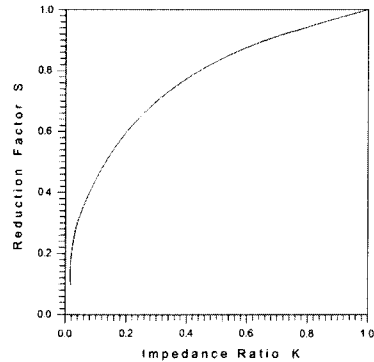


그림 2. 축소계수 S 와 임피던스 비율 K 의 관계
Fig. 2 The Relation of Reduction Coefficient and Impedance Ratio K

그림 2는 축소계수 S 를 임피던스 비율 K 의 함수로 나타낸 것이다. 따라서 축소계수 S 는 **SIR**의 소형화를 위해서 K 값을 감소 시켜야 한다는 것을 명확하게 해준다. 그러나 유전체 공진기의 K, S 그리고 Q_c 와의 관계를 나타낸 그림 3으로부터 K 와 S 의 값이 작아지면 Q_c 도 작아지기 때문에 적절한 K 의 선정이 필요하다.

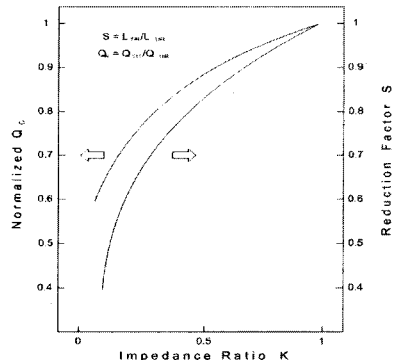


그림 3. K, S, Q_c 와의 관계
Fig. 3 The Relation of K, S and Q_c

그림 4는 SIR의 내형과 외형에 따른 $Z_0\sqrt{\epsilon_r}$ 값의 계산 결과를 보여준다. 그림 1의 (b)는 Short end 에서 외부도체는 정방형이고 내부도체는 원형을, Open end 에서는 내외부 도체가 모두 정방형을 사용해서 내외부 도체가 모두 원형만 사용한 SIR 보다 K값을 작게 할 수 있으므로 다른 타입보다 작은 SIR 을 만들 수 있다.

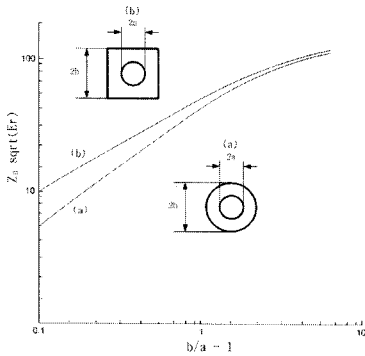


그림 4. 각 형태에 대한 $Z_0\sqrt{\epsilon_r}$ 의 계산 값
Fig. 4 $Z_0\sqrt{\epsilon_r}$ Value according to the Type

III. 설계 및 시험 결과

800MHz 대역에서 사용되는 BPF 설계를 위해 다음과 같은 필터의 특성을 규정하였다.

표 1. 측정장비 및 Spec.
Table. 1 Measurement equipment and Specification

계측장비	N/A E5071C
중심주파수	881.5 MHz
공진기의 수	6
필터응답	Chebyshev형
I/L	0.8 dB
통과대역리플	0.3 dB
Attenuation	$f_0 \pm 18.5 \text{ MHz} = 13.0 \text{ dB}$
Fractional 대역폭	25 MHz

위와 같은 특성을 갖는 대역통과 필터를 설계하기 위해 먼저 저역통과 필터의 프로토타입 값과 실제 구현 할 수 있는 공진기의 L, C 값과 결합 커패시턴스 값을 얻어야 한다. 그림 5와 같은 형태의 최종적인 대역통과 필터

는 그림 6과 같은 설계흐름도를 따라 설계되었다.

먼저 주어진 통과대역의 특성 및 기타 규격을 만족하는 공진기의 Q_c 와 K를 선정한다 다음 Chebyshev형 대역통과 필터 설계이론에 따라 저역통과 프로토타입 필터로부터 인버터를 이용하여 결합 커패시턴스 C1 - C7의 값과 각 공진기의 LC값을 결정한다.

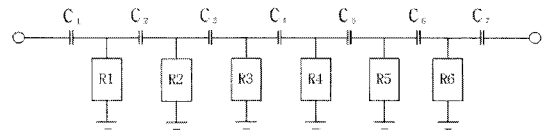


그림 5. 대역통과 필터(BPF)
Fig. 5 The Band Pass Filter

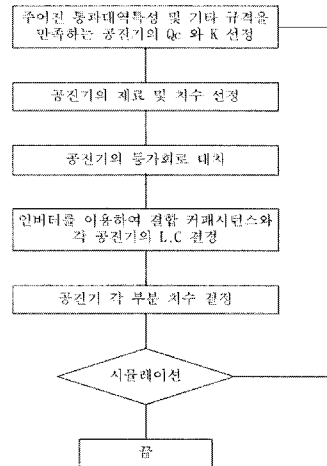


그림 6. 설계 흐름도
Fig. 6 The Design Flow Chart

3.1 SIR을 이용한 대역통과 필터의 설계

그림 7은 선정된 구형동축형 SIR의 치수와 재료의 특성이다.

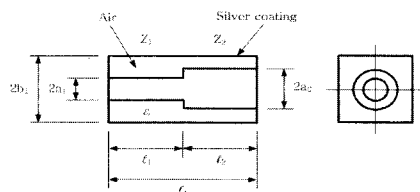


그림 7. SIR의 치수와 재료특성
Fig. 7 The Dimensions and Material Characteristics of SIR

공진기의 재질은 Fe(KS-D-3567, SUM24L)이고 표면을 $6\mu\text{m}$ 두께의 은으로 도금하였다. $2a_1$ 은 10mm, $2a_2$ 는 20mm 이고, l_1 은 29mm, l_2 는 5mm 이다. 이와 같은 공진기는 그림 8과 같이 Simulation 특성에 준하여 제작하였으며, 유전율은 1.0 이다. 기구물 몸체(Body)의 재질은 A6061 계열의 알루미늄이고 표면을 $6\mu\text{m}$ 두께의 은으로 도금하였다. $2b_1$ 의 길이는 30mm 이고, l_1 의 길이는 36mm로 제작한 것은 그림 9와 같다.

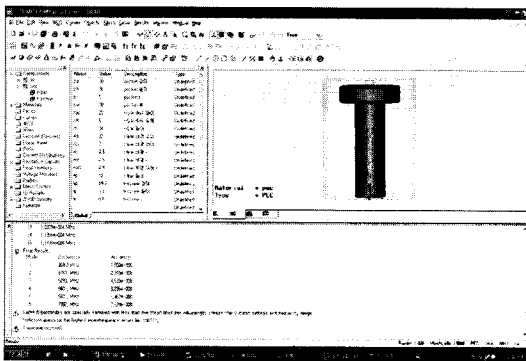


그림 8. SIR 타입 공진기 Simulation
Fig. 8 The Simulation of SIR Type Resonator Bar

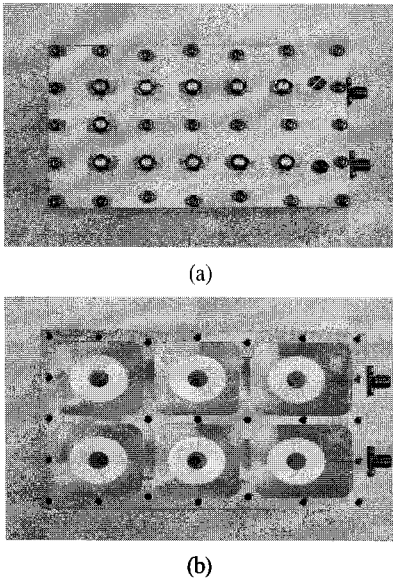


그림 9. 제작된 SIR 타입 필터
(a) 필터 외형 (b) 필터 내부
Fig. 9 The Fabricated SIR Type Filter
(a) Exterior of Filter (b) Inside of Filter

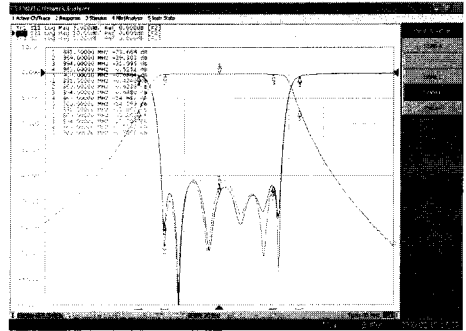


그림 10. SIR 타입 필터의 I/L과 R/L 파형
Fig. 10 The I/L and R/L Waveform of SIR Type

표 2. SIR 타입 필터의 측정 데이터
Table. 2 The Measurement Data of SIR Type

주파수[MHz]	869.0 ~ 894.0
I/L[dB]	-0.64
R/L[dB]	-21.5
평탄도[dB]	-0.22
Attenuation[dB]	-14.5

그림 10과 표2는 SIR 타입의 Data값이다.

3.2 UIR 을 이용한 대역통과 필터의 설계

UIR 만을 이용하여 대역통과 필터를 설계 하였다. 그림 11은 선정된 UIR의 치수와 재질의 특성을 나타내었다.

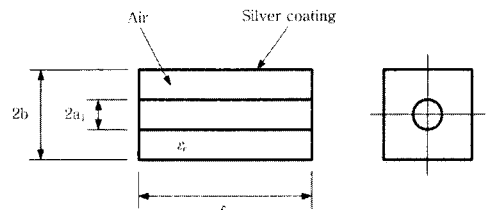
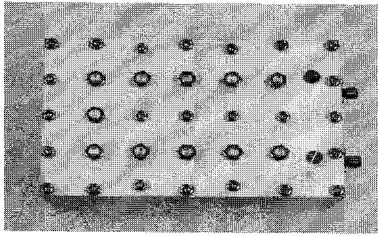
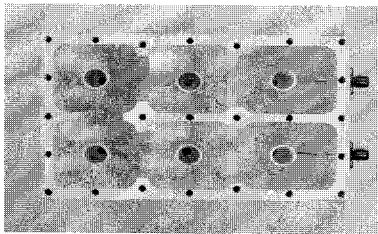


그림 11. 선정된 UIR 의 치수와 재료특성
Fig. 11 The Dimensions and Material Characteristics of Selected UIR

공진기의 재질은 Fe(KS-D-3567, SUM24L)이고 표면을 $6\mu\text{m}$ 두께의 은으로 도금하였다. $2a_1$ 은 10mm 이고 유전율은 1.0 이다. 기구물 몸체의 재질은 A6061 계열의 알루미늄으로 표면을 $6\mu\text{m}$ 두께의 은으로 도금하였다. $2b_1$ 의 길이는 30mm 이고, l_0 는 56mm로 한 완성된 제품은 그림 12와 같다.



(a)



(b)

그림 12. 제작된 UIR 타입 필터
(a) 필터 외형 (b) 필터 내부
Fig. 12 The Fabricated UIR Type Filter
(a) Exterior of Filter (b) Inside of Filter

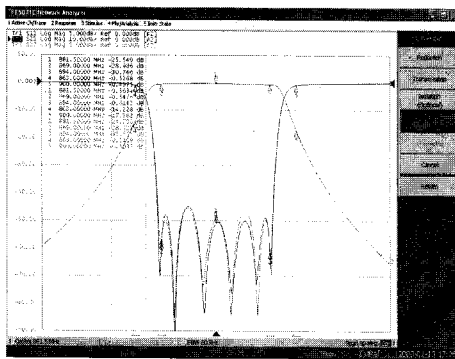


그림 13. UIR 타입 필터의 I/L과 R/L 파형
Fig. 13 The I/L and R/L Waveform of UIR Type

표 3. UIR 타입 필터의 측정 데이터
Table. 3 The Measurement Data of UIR Type

주파수[MHz]	869.0 ~ 894.0
I/L[dB]	-0.61
R/L[dB]	-23.0
평탄도[dB]	-0.25
Attenuation[dB]	-14.2

그림 13과 표 3은 UIR 타입의 Data 값이다.

위의 두 가지 실험에서는 은 도금을 사용한 필터로써 설계를 하였는데 이러한 이유는 표면 처리를 함으로써 좀 더 정확한 측정 결과를 나타내기 위함이다. 측정 결과를 보았을 때 SIR 방식이 그림 13과 같이 외형적인 크기가 작으면서도 UIR 방식의 I/L 값이 거의 같음을 알 수 있었다.

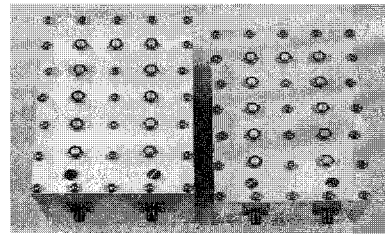


그림 14. 제작된 UIR 타입과 SIR 타입 필터
Fig. 14 The Fabricated UIR Type and SIR Type

IV. 결 론

현재 필터를 생산, 개발하는 업체에서 주로 사용하는 방식으로 UIR 방식을 들 수 있는데, 이러한 방식은 Cavity Type의 필터에서 흔하고 가장 많이 사용되는 방식이다. 그러나 SIR 방식 또한 UIR 방식과 마찬가지로 Cavity Type의 필터로써 사용할 수 있고, 또한, SIR 방식을 사용함으로써 UIR 방식과 비슷한 특성을 가질 수 있다는 것을 실험과 결과 Data를 통하여 알 수 있었다.

이와 같은 결론으로 현재 필터를 개발, 생산하는 업체에서 원가 절감에 따른 경쟁업체와 비교할 때, 좀 더 경쟁력을 높일 수 있다는 이점을 얻을 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- [1] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing company, Inc. 1990.
- [2] G. L. Matthaei, L. Young, and E.M.T. Jones, Microwave Filter, Impedance-Matching Network, and Coupling Structures, New York : Mcgraw-Hill, 1964.
- [3] David M. Pozar, Microwave and RF Wireless Systems Addison-Wesley Publishing company, Inc. pp. 178-218.

- [4] 안달, 윤상원, 장익수, "인버터 특성을 고려한 새로운 주파수 변환함수", 대한전자공학회 마이크로파 및 전파전파연구회 학술발표회 논문집, 제15권, 제1호, 1992.
- [5] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, 2nd Ed., McGraw-Hill. N. Y., 1992.
- [6] J. A. G. Malherbe, *Microwave Transmission Line Filters*, Artech House, Dedham, MA, 1979.
- [7] 김정제, 윤상원, "유전체 동축 공진기를 이용한 타원 함수 대역통과 여파기의 설계", 한국전자파학회 논문집, 제10권, 제6호, 1999.

저자소개



이정남(Jung-Nam Lee)

1970년 한국항공대학교 전자공학과
(공학사)
1992년 경상대학교 전자공학과
(공학석사)

2000년 경상대학교 전자공학과 (공학박사)
1974년~2006년 2월 여수대학교 전자통신공학과 교수
2006년 3월~현재 전남대학교 전자통신공학과 교수
※관심분야: 초고주파공학