JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 7 : 1237~1242 Jul. 2016

광대역의 저지대역을 갖는 부채꼴 형태의 개방형 스터브를 이용한 저역통과 여파기

윤기철[1] · 김성철[2*]

A Low-pass Filter with Wide-stop Band Using Radial-shaped Open Stub

Ki-cheol Yoon[1] · Seong-cheol Kim[2*]

[1]RFIC Research Center, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea
[2*]Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Daejeon 34518, Korea

요 약

본 논문은 병렬 결합선로(coupled-line)와 부채꼴(radial) 개방형 스터브(stub)를 이용한 고조파가 억압된 저역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 본 제안한 저역통과 여파기의 특징은 병렬 결합선로의 구조 때문에 고조파가 광대역으로 억압되었다는 결과를 얻을 수 있었다. 저역통과 여파기의 개방형 스터브는 부채꼴로 구성되어 있으며 이는 여파기의 크기를 조절 할 수 있다. 제안한 저역통과 여파기의 크기는 6.98 × 7.60 mm2이며 차단 주파수는 2.45 GHz 이다. 분포정수소자(distributed element)로 구성되어 있어 단가면에서 경제적이고 제작이 쉬우며 대량 생산이 가능한 이점이 있다. 또한 광대역 고조파 억압에 대한 대역폭은 128 %이며 여파기의 삽입 및 반사 손실은 각각 1.07 dB 및 19.5 dB를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, the low pass filter with harmonics suppression and rejection using parallel coupled-line and radial type open stub is presented. And the resultant characteristic of the proposed low pass filter is that the harmonics are suppressed and rejected in wide bandwidth due to the parallel coupled-line structure. The open stub of a low pass filter is constructed in radial type which can be used to adjust the size of filter. The size of the proposed low pass filter is 6.98 × 7.60 mm2 and the cut off frequency is 2.45 GHz. And the filter is economical in unit cost and can be constructed easily and has the merit of mass product because the filter is composed of distributed element. Also, the widely rejected harmonics is 128 % in the bandwidth and the insertion and return losses of the low pass filter are 1.07 dB and 19.5 dB, respectively.

키워드 : 병렬결합선로, 부채꼴 개방형 스터브, 광대역, 저역통과 여파기, 고조파 억압

Key word : parallel coupled-line, radial open stub, wide band, low pass filter, harmonics rejection

Received 21 March 2016, **Revised** 24 March 2016, **Accepted** 18 April 2016

* **Corresponding Author** Seong-Cheol Kim(E-mail:kmin@wsu.ac.kr Tel:+82-42-630-9393)
Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Daejeon 34518, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.7.1237 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

현대사회가 발전하면서 이동통신 시장의 수요는 증가하고 있으며 더불어 휴대용 단말기는 필수품이 되었다. 휴대용 단말기에는 수많은 부품들이 내장되어 있고 단말기에는 송신부와 수신부로 구분되는데 이때 공통적으로 사용되는 소자는 주로 여파기 이다.

이동통신 시스템에서 여파기는 원하는 대역을 통과시켜주고 불필요한 대역은 차단 시켜주는 역할을 함으로써 시스템의 성능을 높이는데 필수품이다[1]. 특히, 저역통과 여파기는 직렬회로와 병렬회로가 혼합 배열되어 있어, 이는 차단 특성은 우수하나 크기가 커지고 삽입손실 및 반사손실이 증가 한다는데 단점을 가지게 된다[2].

저역통과 여파기의 크기를 줄이기 위해서는 주로 병렬 개방형 스터브 혹은 SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조를 사용하게 되는데 이때, 차단 응답 특성은 우수하나 저지 대역폭이 좁고 고조파(harmonics)가 발생한다는 단점을 가지게 된다[3].

SIR 구조에 병렬(parallel) 결합선로(coupled-line)를 적용한 개방형 스터브(stub) 계열의 저역통과 여파기는 고조파를 억압 하는데 용이하며 많은 연구가 시도된 적이 있었다. 하지만, 고조파 억압에 대한 대역폭이 최대 105 % 이상 확보되지 못하고 있는 실정이다[4-6]. 또한 DGS(Defected Ground Structure) 구조와 PBG(Photonic Band Gap)구조가 적용된 저역통과 여파기가 연구된 적이 있었는데 이들의 단점은 우수한 차단 특성과 넓은 저지대역을 얻기 위해 구조의 배열 주기를 넓혀야 한다. 그러나 이로 인해 크기가 커진다는 단점을 갖게 된다[2]. 이를 극복하고자 본 논문은 고조파가 억압된 저역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 제안한 저역통과 여파기의 특징은 넓은 차단 대역을 가지고 있으며 고조파를 광대역 으로 억압하는데 기여를 한다. 넓은 차단 대역을 얻기 위해 여파기의 내부에 병렬 결합선로를 적용하였으며 여파기의 크기를 조절하기 위해 부채꼴(radial) 형태인 개방형 스터브(stub)를 적용하여 여파기의 크기를 줄일 수 있었다.

제안한 여파기는 분포정수소자(distributed element)를 사용하여 단가 면에서 경제적이고 구현이 간단하여 대량생산이 용이하도록 설계를 하였다.

Ⅱ. 광대역 고조파 억압용 저역통과 여파기의 분석 사례

이동통신용 저역통과 여파기의 구성은 직렬 인덕터(inductor)와 병렬 캐패시터(capacitor)로 구성되어 있으며 분포정수 소자로 이용하여 설계를 할 경우, 직렬 전송선로와 병렬 스터브로 구성을 한다. 이때, SIR을 사용할 경우도 있지만 상황에 맞추어 분포정수 소자와 집중정수 소자(lumped element)와 혼합하여 설계를 할 수 있다. 저역통과 여파기는 소형화 기술이 중요하며 고조파 억압 능력도 중요하다.

고조파의 경우, 주로 2차에서 4차까지 발생할 수 있으므로 이를 억압하기 위해서는 병렬 스터브에 해당되는 캐패시턴스(capacitance) 값과 병렬 결합선로에 대한 캐패시턴스 값을 조정함으로써 고조파를 억압과 동시에 넓은 차단 대역을 확보 할 수 있다.

참고문헌 [4]는 고조파 억압과 동시에 크기를 줄이기 위해 헤어핀(hair-pin) 구조로 설계를 하였으며 [5]는 Z-행렬(matrix)를 통해 분포정수 소자와 집중정수 소자를 혼합하여 설계를 함으로써 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 고조파 또한 억압하는데 기여를 하였다.

참고문헌 [6]는 분포정수소자를 이용하여 SIR 구조로 설계를 하였으며 이 또한 소형 크기와 고조파를 억압 능력을 확보하는데 분석 되었다. 표 1 광대역 고조파 억압용 저역통과 여파기의 크기와 고조파 억압 능력 척도에 대해 분석 및 비교를 하였으며 고조파 억압 척도를 대역폭으로 계산을 했을 때 최대 100 % 이내로 억압되었다는 것으로 파악되었다.

Table. 1 Analysis for size and harmonics rejection

ref [#]	type	fC [GHz]	harmonics B/W [%]	size [mm2]	εr
[4]	hair-pin	2.00	104	19.1×8.41	10.2
[5]	Semi-Lumped	1.30	69.0	13.0×1.20	3.50
[6]	SIR	2.00	100	12.06×9.58	3.50

Ⅲ. 개방형 스터브를 이용한 광대역 고조파가 억압된 저역통과 여파기

개방형 스터브를 이용한 광대역 고조파가 억압된

저역통과 여파기는 그림 1과 같이 직렬 전송선로와 병렬 결합 선로 그리고 개방형 스터브로 구성되어 있다. 그림에서 l_1 와 l_C 그리고 l_S는 직렬 전송선로와 병렬 결합선로 그리고 개방형 스터브에 대한 길이를 의미하고 θ_1 과 θ_C 그리고 θ_S는 직렬 전송선로와 병렬 결합선로 그리고 개방형 스터브에 대한 전기적인 길이를 의미하며 β_1과 β_C 그리고 β_S는 직렬 전송선로와 병렬 결합선로 그리고 개방형 스터브에 대한 물리적인 길이를 의미 한다. Z_S는 개방형 스터브의 특성 임피던스를 의미하며 Z_{oe} 와 Z_{oo}는 병렬 결합 선로에 대한 우(even) 및 기(odd) 모드(mode)의 특성 임피던스(impedance)를 의미한다. 이때, 우 및 기 모드의 특성 임피던스는 각각 75 Ω 및 35 Ω 이며 특성 임피던스(Z_0)는 식 (1)과 같이 50 Ω 이다[7].

$$Z_1 = \sqrt{Z_{oe}, Z_{oo}} \tag{1}$$

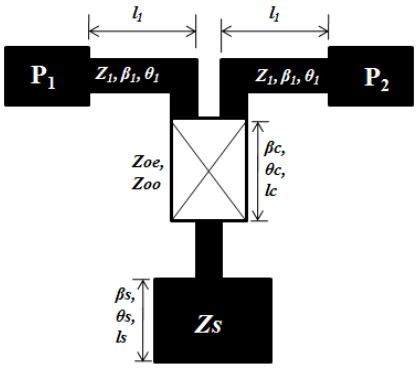


Fig. 1 Block diagram of the low pass filter with wide harmonics rejection using open stub

병렬 결합선로에 대한 물리적인 길이는 식 (2)와 같이 우 및 기 모드의 특성 임피던스에 따라 결정 된다[6]. 그림 2는 광대역 고조파가 억압된 저역통과 여파기의 등가회로 이며 L_p는 직렬 전송선로에 대한 인덕턴스이고 C_P와 C_S는 병렬 결합선로 및 개방형 스터브에 대한 캐패시턴스를 의미한다[6]. 이때 L_P와 C_p 그리고 C_S는 식 (3), (4), (5)와 같이 제시되며 식에서 Y_1과 Z_1는 병렬 결합선로와 직렬 전송선로에 대한 특성 어드미턴스(admittance) 및 임피던스 이고 Y_S는 개방형 스터브의 특성 어드미턴스이며 ω는 여파기의 각주파수(angular frequency) 이다[7].

$$\cos(\beta l) = \frac{\dfrac{Z_{oe}}{Z_{oo}} - \tan^2(\theta_C)}{\dfrac{Z_{oe}}{Z_{oo}} + \tan^2(\theta_C)} \tag{2}$$

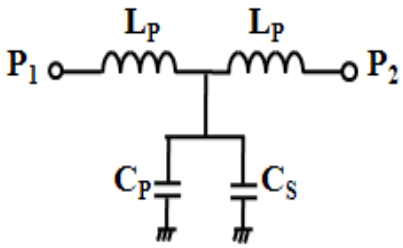


Fig. 2 Equivalent circuit of the low pass filter with wide harmonics rejection using open stub

$$C_P = \frac{Y_1 \sin(\beta l)}{\omega} \tag{3}$$

$$L_P = \frac{Z_1 \tan\left(\dfrac{\beta l}{2}\right)}{\omega} \tag{4}$$

$$C_S = \frac{Y_S \tan(\theta_S)}{\omega} \tag{5}$$

저역통과 여파기 구조의 특징은 그림 3과 같이 크기를 줄이기 위해 직렬 전송선로의 부분을 접힘으로써 병렬 결합선로로 구현되어지며 이때 한쪽 끝이 단락되면서 개방형 스터브로 직접 연결되어진다. 그러므로 병렬 결합선로의 높은 커플링(coupling)으로 인해 고조파가 광대역으로 억압되는 특징을 가지게 된다[8, 9].

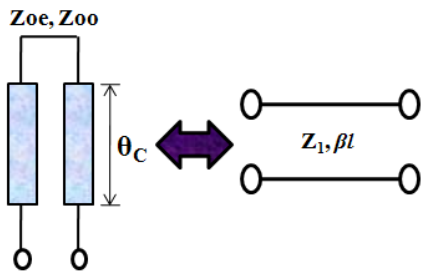


Fig. 3 Equivalent structure for parallel coupled lline of the low pass filter

Ⅳ. 제안한 저역통과 여파기의 설계 및 실험 결과

제안한 저역통과 여파기는 그림 4와 같이 직렬 전송선로와 병렬 결합선로 그리고 부채꼴(radial) 형태의 개방형 스터브로 구성되어 있다.

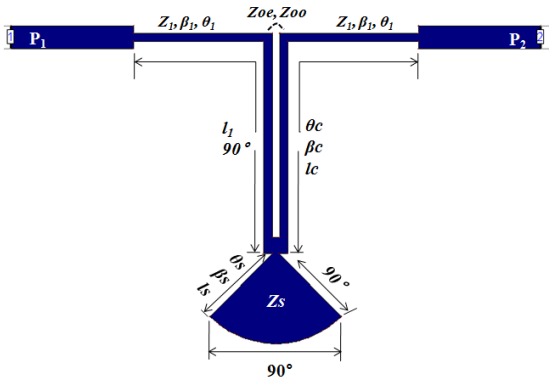


Fig. 4 Structure of the designed low pass filter

기존의 구조 [6]는 사각형 개방형 스터브로 구성되어 있지만 이는 실제의 크기(12.06×4.030mm^2)가 커질 수 있다. 하지만 radial 개방형 스터브는 부채꼴의 형태로 인해 세로 측의 크기(2.20×3.22mm^2)를 조절할 수 있으므로 크기의 조절이 용이하다. 그림에서 θ_1과 Z_1은 90° 및 120Ω 이고 θ_C와 Z_{oe} 및 Z_{oo}는 각각 90°와 75Ω 및 35Ω 이며 또한 θ_S는 90° 이다. 제안한 여파기의 l_1와 l_S 그리고 l_S는 각각 3.2 mm 및 5.2 mm 그리고 2.2 mm 이다.

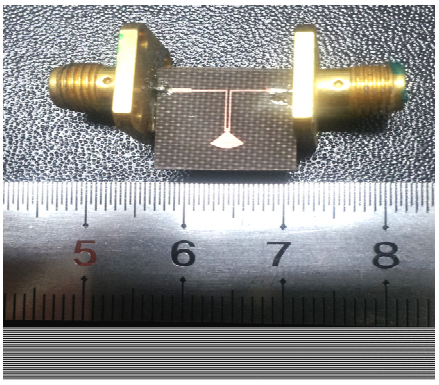
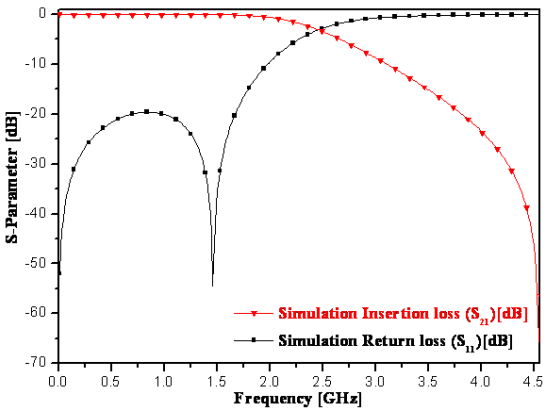
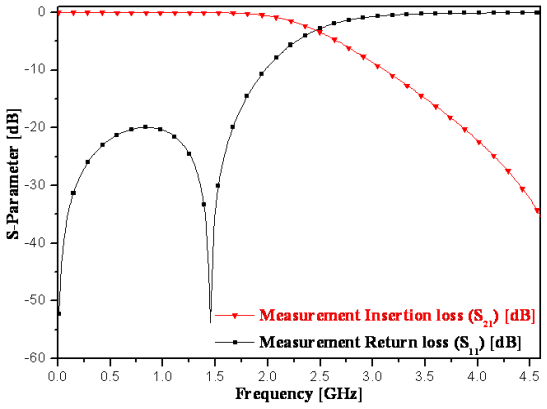


Fig. 5 Fabrication of the low pass filter

그림 5는 제안한 저역통과 여파기의 제작된 사진이며 여파기의 제작을 위해 유전율 10.2, 기판 높이 0.635 mm의 값을 가진 droide 기판을 이용하여 Negative 방식의 음화필름을 적용한 후, wet-etching을 통해 제작을 시도 하였다. 그림 6은 제안된 저역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과 보여주고 있고 그림 7은 저역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정에 대한 삽입 손실 및 리플(ripple) 결과를 자세히 보여주고 있다.



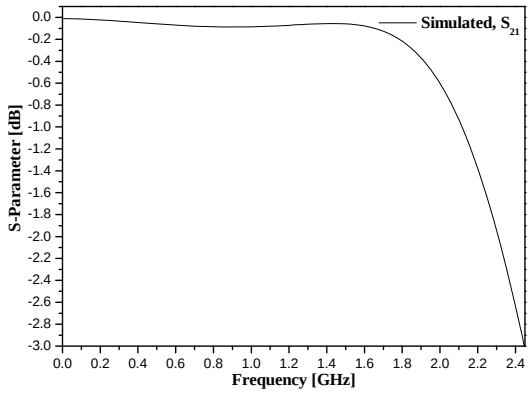
(a)



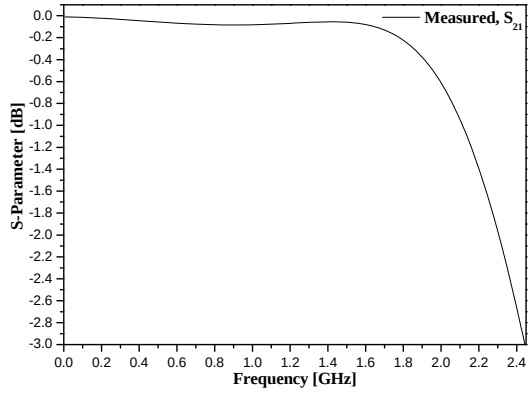
(b)

Fig. 6 Simulation and measurement results for pass band of the proposed low pass filter (a) simulation, (b) measurement

그림 8은 저역통과 여파기의 통과 대역 및 차단 대역에 대한 전체 시뮬레이션 및 측정 결과를 보여주고 있으며 표 2는 결과 값에 대해 제시되어 있다.



(a)



(b)

Fig. 7 Simulation and measurement results for insertion loss and ripple of the proposed low pass filter (a) simulation, (b) measurement

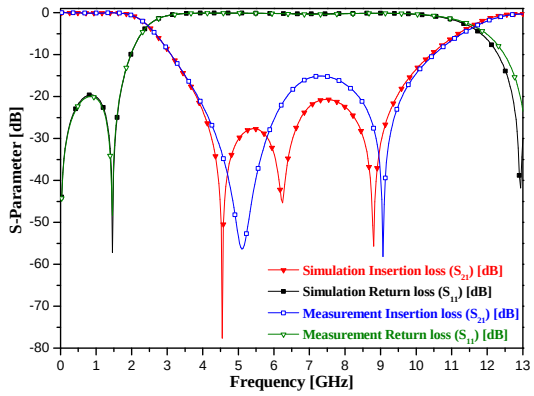


Fig. 8 Simulation and measurement results for pass band and stop band of the proposed low pass filter

Table. 2 Simulation and measurement results of the proposed filter

f_C [GHz]	Insertion loss [dB]		Return loss [dB]		harmonics, S_{21} [dB]		Band stop B/W [%]
	Sim.	Meas.	Sim.	Meas.	Sim.	Meas.	
2.45	0.08	1.07	19.6	19.5	20.7	15.1	128

제안된 여파기의 크기는 6.98×7.60 mm^2 이며 표 1과 표 3에 제시된 여파기들 보다 60% 및 73%의 크기로 축소되었다. 또한 고조파 억압에 대한 대역폭은 표 1과 비교 했을 때 23% 이상 확보되었으며 표 3과 비교 했을 때도 6.2% 이상 확보되었다. 수준으로 축소되었다는 것을 확일 할 수 있었다.

Table. 3 Comparison for proposed filter and others

ref [#]	f_C [GHz]	harmonics, S_{21} B/W [%]	ε_r	sizes [mm^2]
This work	2.45	128	10.2	6.98×7.60
[7]	2.00	88.0	3.36	21.9×3.65
[8]	2.73	120	2.20	26.0×15.0
[9]	2.20	40.0	4.40	12.7×7.70

Ⅴ. 결 론

본 논문은 고조파가 억압된 저역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 제안된 여파기는 병렬 결합선로(coupled-line)로 인해 저지대역에서 넓은 대역폭이 확보되어 고조파가 광대역 으로 억압이 가능하며 부채꼴(radial) 개방형 스터브(stub)가 적용됨으로써 병렬 캐패시턴스(capacitance)로 인해 저역통과 여파기의 기능을 할 수 있다.

제안된 저역통과 여파기는 분포정수소자(distributed element)로 구성되어 있어 단가면에서 경제적이고 제작이 쉬우며 대량 생산이 가능한 이점이 있다. 여파기의 크기는 6.98×7.60 mm^2 이며 고조파 억압에 대한 대역폭은 128% 이고 차단 주파수는 2.45 GHz 이다. 또한 여파기의 저역통과 내에서 삽입 및 반사 손실은 각각 1.07 dB 및 19.5 dB로써 비교적 양호한 결과를 얻었다.

본 제안한 여파기는 향후 반도체 공정을 통해 대량 생산이 가능할 것으로 기대되며 이동통신 분야에 적용

이 용이할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] B. J. Kim, "The analysis of the relationship between the throughput and the wireless channel conditions of a LTE mobile communication system," *J. Korea Ins. Electronic Communication Science (JKIES)*, vol. 10, no. 2, pp. 219- 26, Feb. 2015.

[2] K. H. Kim, J. H. Jung, C. S. Kee, H. Lim, and I. Park, "A compact three stage low-pass filter with an ultra-wide stopband," *J. Int. Electronics Engineers of Korea-elecommunications*, vol. 40, no. 3, pp. 25-30, Mar. 2003.

[3] S. I. Kim, C. S. Kee, I. Park, and H. Lim, "Analysis of stepped impedance lowpass filter with coupled open stub," *J. Korean Ins. Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 10, pp. 1078-1082, Dec. 2002.

[4] L. H. Hsieh and K. Chang, "Compact lowpass filter using stepped impedance hairpin resonator," *Electronics Lett.*, vol. 37, no. 14, pp. 899-900, Jul. 2001.

[5] R. Li, D. I. Kim, and C. M. Choi, "Semi-lumped compact low-pass filter for harmonics suppression," *J. Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 6, no. 3, pp. 171-175, Sep. 2006.

[6] R. Li and D. I. Kim, "A new compact low-pass filter with broad stopband and sharp skirt characteristics," *IEEE Proc. Asia Pacific Microwave Conference (APMC)*, vol. 3, Dec. 2005.

[7] C. J. Chen, "Design of artificial transmission line and low-pass filter based on aperiodic stubs on a microstrip line," *IEEE Trans. Components, Packaging and Manufacturing Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 922-928, May 2014.

[8] Y. Li, J. Gong, Y. Wang, s. Li, and J. Wu, "A new type of microstrip low-pass filter," *IEEE Int. Conference on Electronic Packaging Technol.*, pp. 542-544, Aug. 2015.

[9] D. Gupta, K. Chaurasia, A. Rathor, P. K. Singhal, "Designing of double negative media based low pass microstirp filter using stepped impedance," *IEEE Int. Conference on Signal Processing and Integrated Networks SPIN)*, pp. 633-637, Feb. 2015.

김성철(Seong-cheol Kim)

1987년 고려대학교 전자공학과 학사
1989년 고려대학교 전자공학과 석사
1989년 ~ 1994년: 삼성전자(주) 근무
1997년 고려대학교 전자공학과 박사
1997년 ~ 현재: 우송대학교 철도전기시스템학과 부교수
※관심분야 : CDMA 이동통신, 통신이론, 차세대 광대역 이동 멀티미디어 시스템

윤기철(Ki-Cheol Yoon)

2005년 02월 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부 공학사
2007년 02월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 공학석사
2011년 08월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 공학박
2012년 02월 ~ 2013년 02월 한국과학기술원 정보전자연구소 박사후 연구원
2013년 03월 ~ 현재 광운대학교 RFIC 연구센터 초빙교수
※관심분야 : Metamaterial, Radio Bio-Medical, RF-MEMS, IPD Design, Energy Harvesting