

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.185>

IIBC 2015-4-23

5세대 이동통신 시스템을 위한 도파관-마이크로스트립 앤티포달 변환에 관한 연구

A Study on Waveguide to Microstrip Antipodal Transition for 5G cellular systems

기현철*

Hyeon-Cheol Ki*

요약 본 논문에서는 5세대 이동통신 시스템에 적용하기 위한 V-밴드 내 57-65GHz 대역에서의 앤티포달 핀라인(antipodal finline) 도파관 변환기의 특성을 분석하고, 변환기를 설계하였다. 특히, 핀라인 테이퍼 형태를 설계하기 위해 선형 테이퍼에 곡률변수를 통해 곡률을 추가시켜 스플라인(spline) 테이퍼를 구하는 방식을 제안하였다. 이 방식을 통해 최적화에 부적절한 영역을 최적화 영역에서 제외함으로써 보다 효율적으로 최적화를 할 수 있었다. 앤티포달 핀라인 변환기의 반사손실과 삽입손실은 핀라인 테이퍼 형태에 가장 크게 좌우되었다. 핀라인 변환기 구조에서 발생하는 공진은 변환기의 성능을 저해하는 가장 큰 적이었으며 반원 모양의 패치(patch)를 사용하여 완화시켰다. 설계한 앤티포달 핀라인 변환기는 사용하고자 하는 대역(57-65GHz)에서 반사손실은 -24.2dB 이하이고 삽입손실은 -0.24dB 이하로서 매우 양호한 특성을 나타냈다.

Abstract In this paper we characterized and designed the waveguide antipodal finline transition at 57-65GHz frequency band in V-band for 5G mobile communication systems. Especially, we proposed the design method of spline taper for finline tapers by means of increasing curvature from linear taper. We could perform optimization more effectively by excluding improper regions for optimal performance from optimization using the method. Return losses and insertion losses of antipodal finline transitions were mainly affected by the taper shape of the finline. The resonances in the structure of the finline transition were the strongest enemies who deteriorate the performance of the transition. And we alleviated the resonances using semicircle shaped patch. The designed antipodal finline transition showed good performance as it showed less than -24.2dB of return loss and -0.24dB of insertion loss in the band(57-65GHz) which we suppose to use.

Key Words : waveguide transition, antipodal finline, waveguide-microstrip transition, millimeter wave

1. 서론

차세대 이동통신 기술인 5세대 기술은 스몰 셀(pico/fernto cell)로 네트워크의 밀도를 높이고 밀리미터

파(millimeter wave) 대역의 주파수를 활용함으로써 폭발적으로 증가하는 데이터 용량을 감당할 것으로 예상되고 있다. 이 경우 스몰 셀 내부와 백홀(backhaul)등에서 밀리미터파가 사용될 것으로 예상되며, V-밴드 내

*정회원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 2015년 5월 12일, 수정완료 2015년 6월 15일
게재확정일자 2015년 8월 7일

Received: 12 May, 2015 / Revised: 15 June, 2015 /

Accepted: 7 August, 2015

*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

57-65GHz 대역, E-밴드 내 71-76GHz 대역과 81-86GHz 대역, 그리고 W-밴드 내 90-95GHz 대역 등이 적합한 주파수 대역으로 관심을 받고 있다^[1-4]. 밀리미터파는 수분에 의한 감쇠가 심한 특성을 갖고 있다. 이는 스몰 셀에 사용할 경우 인접 셀과의 간섭을 줄여줘서 주파수 재사용을 용이하게 하는 장점으로 작용하기도 한다. 그러나 밀리미터파 대역의 시스템을 설계 할 경우 경로에 따른 신호의 감쇠를 신중하게 고려해줘야 하며 경로 감쇠를 최소화하기 위해 신호 전송 시에 도파관을 사용하게 된다. 그러나 RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit) 등은 마이크로스트립선(microstrip line)으로 구성되어 있으므로 도파관의 신호를 마이크로스트립 선으로 혹은 그 역으로 변환하는 도파관-마이크로스트립 변환기(waveguide-microstrip transitions)가 필요하게 된다.

현재 주로 사용되는 도파관-마이크로스트립 변환기에는 릿지 도파관 변환기(ridge waveguide transition), 프로브 도파관 변환기(probe waveguide transition), 엔티포달 핀라인 도파관 변환기(antipodal pinline waveguide transition) 등이 있고, 각기 다른 회로 구조와 주파수 대역에 적합한 특성을 보인다^[5-6]. 밀리미터 파 대역에서 릿지 도파관 변환기는 크기가 작고 매우 높은 정확도를 보이거나 다루기가 까다로운 단점이 있다. 프로브 도파관 변환기는 구조가 간단하고 제작이 쉽고 성능도 좋은 반면에 도파관의 출력 포트(port)가 마이크로스트립선과 수직이어서 작은 크기에 적용하기에 부적합하다. 또한, 도파관의 백쇼트(backshort) 위치에 따라 특성이 크게 영향을 받으므로 재현성이 좋지 못하며 정밀한 금속가공이 요구되므로 고비용인 단점을 갖고 있다. 한편, 엔티포달 핀라인 도파관 변환기는 삽입손실과 반사 손실이 작으며 넓은 대역에서 좋은 성능을 보인다. 또한, 주요 설계변수가 기판의 금속 박막에 프린트된 핀 모양에 있으므로 재현성이 우수하고 정밀한 금속가공을 하지 않아도 되므로 저비용으로 구현할 수 있다. 그 외에도 도파관 방향과 변환기 방향이 일치하고 도파관 내에 핀을 설치하는 위치에 거의 영향을 받지 않으므로 쉽고 콤팩트하게 설치할 수 있다는 장점도 있다. 따라서 본 연구에서는 엔티포달 핀라인 구조를 이용한 V-밴드 내 57-65GHz 대역에서의 도파관 변환기의 특성을 분석하고 5세대 이동통신 시스템에 적용하기 위한 변환기를 설계한다.

II. 도파관 변환기의 구조

엔티포달 핀라인을 이용한 도파관 변환기의 구조를 그림 1에 보였다. 도파관은 대역폭이 50-75GHz인 WR15의 규격을 따랐다. 따라서 a는 3.8mm가 되고 b는 1.9mm가 된다. 핀라인이 설계될 기판은 비유전율이 2.2이고 두께가 0.127mm인 RT/duroid 5880을 사용하였다.

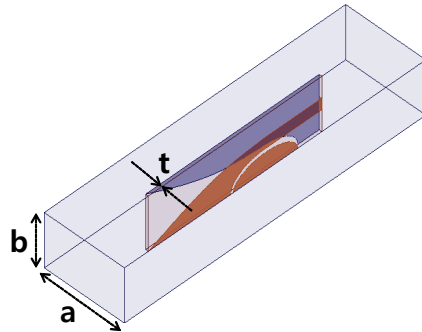


그림 1. 엔티포달 핀라인을 이용한 도파관 변환기의 구조
Fig. 1. A structure of the waveguide transition using antipodal finline

그림 2는 엔티포달 핀라인의 구조를 보여주고 있다. 아래쪽의 핀과 반타원형 패치는 기판의 위면에 위치하고 위쪽의 핀은 기판의 아랫면에 위치한다. 도파관 변환기의 특성은 핀라인의 모양에 가장 큰 영향을 받는다.

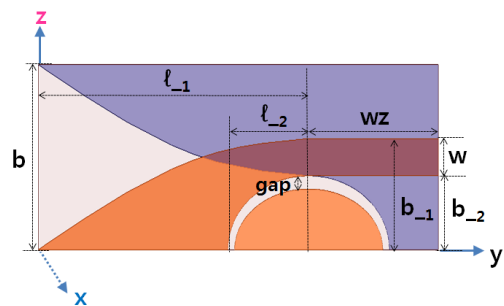


그림 2. 엔티포달 핀라인의 구조
Fig. 2. A structure of the antipodal finline

따라서 변환 손실을 최소화하기 위해 핀라인의 모양 특히 테이퍼(taper) 형태를 최적화하여 반사손실을 최소화하는 노력을 하게 된다. 핀라인의 테이퍼(taper) 형태에는 지수함수 테이퍼, 포물선 테이퍼, 사인 혹은 코사인

테이퍼, 사인제곱 혹은 코사인제곱 테이퍼 등 여러 가지가 있으며, 최근에는 스플라인(spline)을 이용한 테이퍼 형태도 유용하게 쓰이고 있다. 본 논문에서는 보다 효과적인 스플라인(spline) 테이퍼 방식을 제시하고 이를 이용하여 앤티포달 핀라인 변환기를 설계하고자 한다.

III. 핀라인 테이퍼 설계 이론

구형도파관과 마이크로스트립선 간의 전자기파 변환을 위해 핵심적으로 고려해야 할 사항은 전자기파 정합과 임피던스 정합이다. 전자기파 정합은 3차원적인 형태를 갖고 있는 구형도파관의 경계조건을 평면적인 형태를 갖는 마이크로스트립선의 경계조건으로 어떻게 바꾸어 줄 수 있는가의 문제로서 가급적 경계조건을 점진적으로 바꾸어 주는 것이 효과적이다. 임피던스 변화에 따른 반사를 최소화하여 전자기파의 전달을 극대화하기 위해 임피던스를 정합해 주는 것이 중요하다.

그림 2에 보인 앤티포달 핀라인 변환기는 기관 양면에 구성되어있는 두개의 핀라인의 좌측 끝 지점에서 구형도파관 내의 주된 모드인 TE₁₀모드의 전계를 받아들이는 것이다. 이후 전계는 핀라인을 타고 이동하면서 방향을 90° 회전함으로써 마이크로스트립선내의 전계와 방향을 일치 시킨다. 이후 두 핀라인이 기관을 사이에 두고 겹쳐짐으로써 완전한 마이크로스트립선으로 변환되고 전자기파는 TE₁₀모드에서 유사TEM모드로 변환된다. 또한, 좌측 끝에서 도파관의 높은 특성임피던스에 맞춰졌던 핀라인의 임피던스는 우측으로 이동하면서 점진적으로 감소되어 핀라인 끝에서는 마이크로스트립선의 특성 임피던스인 50Ω으로 변환된다. 이모든 과정에서 핀라인의 형태와 크기는 변환기 성능을 좌우하는 주된 요소가 된다. 특히, 핀라인의 테이퍼 형태는 삽입손실과 반사손실을 최소화하기 위한 주요 변수가 되므로 꾸준히 연구되어왔다.

본 논문에서는 스플라인 보간법(spline interpolation)을 이용하여 핀라인의 테이퍼 형태를 설계하였다. 스플라인은 주어진 점을 매끄럽게 연결하는 알고리즘으로 핀라인의 처음과 끝에 각각 마디를 설정하고 그 사이에 임의의 위치에 제3의 마디를 설정하여 스플라인 보간을 하게 되면 제3의 마디의 위치에 따라 곡률을 다양하게 변화시킬 수 있으며, 그 중에서 최적의 곡률을 찾아내어 설계하는 방법이다. 이 경우 제3의 마디는 그림 2를 기준으로

zy평면상에서 b와 ℓ_1 으로 이루어진 사각형 내의 임의의 위치에 존재하므로 구해진 스플라인이 도파관영역을 벗어나는 경우도 발생할 수 있고 물리적으로 최적의 성능을 낼 수 없는 영역까지도 다 포함되므로 최적화를 위한 시뮬레이션 작업이 비효율적이고 지나치게 많은 시간이 소요되어 현실적으로 최적의 값을 구하는데 실패할 수도 있다. 따라서 제3의 마디를 위치시킬 때 z축 방향은 고정하고 y축 방향으로만 변화를 주는 방법을 사용하고 있다^[7]. 그러나 이로 인해 보다 더 최적화된 값을 찾는 데 실패할 수 있다.

본 논문에서는 식(1)에서와 같이 선형 테이퍼에 곡률을 더해주는 방식으로 스플라인 곡선을 구함으로써 불필요한 영역을 최적화에서 제외할 수 있으며 한 축 방향을 고정함에 따른 불완전한 최적화의 문제도 해소할 수 있는 방법을 제시한다.

제3의 마디의 y축 값을 c_{-1} 이라하고 z축 값을 $z(c_{-1})$ 이라하면 $z(c_{-1})$ 은 다음 수식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} z(c_{-1}) &= g(c_{-1}) + k_{s1}(b_{-1} - g(c_{-1})) \text{ for } 0 \leq k_{-s1} \leq 1 \\ &= g(c_{-1}) + k_{-s1}g(c_{-1}) \text{ for } -1 \leq k_{-s1} < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, g는 선형테이퍼의 함수로서 $g(c_{-1})=b_{-1}p_{-1}$ 이고, $p_{-1}=c_{-1}/\ell_{-1}$ 이다. p_{-1} 는 제3의 마디의 y축 상의 위치를 핀라인의 길이 ℓ_{-1} 으로 정규화한 값이다.

한편, $z(c_{-1})$ 은 제3의 마디의 z축 상의 위치를 표현하는데 $k_{-s1}=0$ 이면 핀라인은 선형테이퍼가 되고, $k_{-s1}>0$ 이면 위로 굽는 곡률을 갖게 되며 $k_{-s1}<0$ 이면 아래로 굽는 곡률을 갖게 된다. 절대값 k_{-s1} 의 크기는 곡률의 크기를 나타낸다. 따라서 최적화 할 때에 k_{-s1} 값의 범위를 설정하여 줌으로써 물리적으로 최적화 가능성이 없는 영역을 제외시킬 수 있어 최적화에 손실을 받지 않으면서도 길지 않은 시간에 최적화를 할 수 있다.

IV. 스플라인을 이용한 앤티포달 변환기의 설계

식(1)을 이용한 스플라인 곡선으로 그림 2에 보인 구조로 앤티포달 변환기를 설계하였다. ℓ_{-1} 구간에서 앞면의 핀과 뒷면의 핀은 같은 곡률의 스플라인을 상하 대칭

으로 사용하였고, ℓ_2 구간에서 앞면 핀의 아래 4분지1원 형태의 스플라인 곡선은 좌우 대칭으로 뒷면 핀 아래의 4분지1원 형태의 곡선에 사용되었다. Ansys사의 HFSS로 시뮬레이션해 본 결과 50GHz근방에서 공진을 하였으므로 반원모양의 공진방지 패치를 앞면 핀 아래에 추가하여 공진 문제를 해소하였다. 그림 3은 핀라인 길이 (ℓ_1) 변화에 따른 엔티포달 변환기의 반사손실 특성을 보여주고 있다.

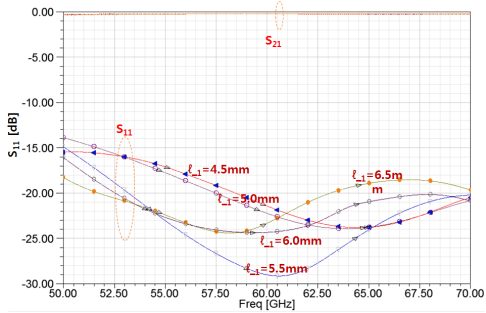


그림 3. ℓ_1 값에 따른 S_{11}
Fig. 3. S_{11} depends on ℓ_1 values

핀라인 길이가 5.5mm일 때 가장 적은반사손실 특성을 보여주고 있다. 이는 핀라인의 길이가 파장의 길이와 같을 때에 반사손실이 최소가 되므로 지수함수 테이퍼의 경우와 유사한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 $p_1=(c_1/\ell_1)$ 값의 변화에 따른 엔티포달 변환기의 반사손실 특성을 보여주고 있다. p_1 은 제3의 마디의 y축 상의 위치를 핀라인의 길이 ℓ_1 으로 정규화한 값으로서 스플라인 곡선을 구할 때에 곡률이 가장 커지는 지점으로 생각할 수 있다.

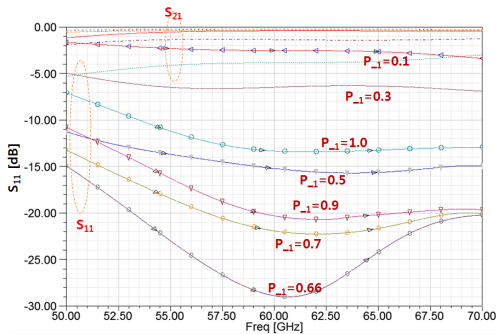


그림 4. p_1 값에 따른 S_{11}
Fig. 4. S_{11} depends on p_1 values

그림 4는 최고 곡률점이 핀라인 양쪽 끝에 위치할 경우 반사 손실이 매우 심해짐을 보여주고 있다. 또한, 최고 곡률점의 위치가 변화함에 따라 반사손실이 매우 큰 폭으로 변하고 있어 최고 곡률점의 위치가 반사손실에 미치는 영향이 매우 크며 핀라인의 테이퍼 모양에 핀라인 변환기의 특성이 매우 민감하게 반응함을 알 수 있다. 최고 곡률점의 위치는 핀라인의 중앙근처에서 최적 특성을 보임을 알 수 있다.

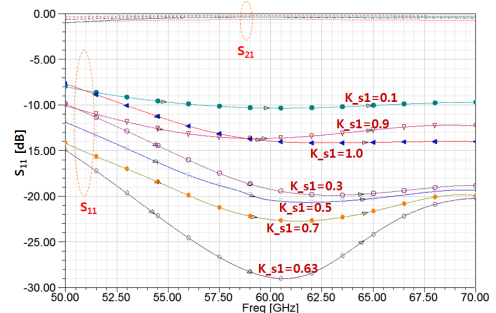


그림 5. k_{s1} 값에 따른 S_{11}
Fig. 5. S_{11} depends on k_{s1} values

그림 5는 k_{s1} 값의 변화에 따른 엔티포달 변환기의 반사손실 특성을 보여주고 있다. k_{s1} 의 부호는 곡선이 굽는 방향을 결정하며 k_{s1} 절대값의 크기는 최대 곡률 지점에서의 곡률의 크기를 나타낸다. 그림 5는 k_{s1} 값의 양극단에서 반사 손실이 매우 커짐을 보여준다. 또한, k_{s1} 값의 변화에 따라 반사손실이 크게 변하고 있어 최고 곡률점의 위치뿐만 아니라 최고 곡률점에서의 곡률 값도 반사손실을 결정하는 주요변수가 되고 있음을 보여준다. 최고 곡률점에서의 곡률 값도 양극단의 값은 좋지 못하며 중간 근방의 값에서 최적치가 존재함을 보여준다.

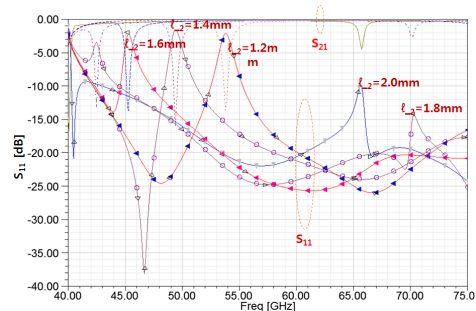


그림 6. ℓ_2 값에 따른 S_{11}
Fig. 6. S_{11} depends on ℓ_2 values

한편, k_{cs1} 값을 음수로 주어 핀라인의 테이퍼 곡선이 아래로 굽도록 하였을 때는 $-1 < k_{cs1} < 0$ 의 전 구간에서 반사손실 특성이 좋지 못하였으므로 최적화 할 때에 이 영역은 미리 제외하였다.

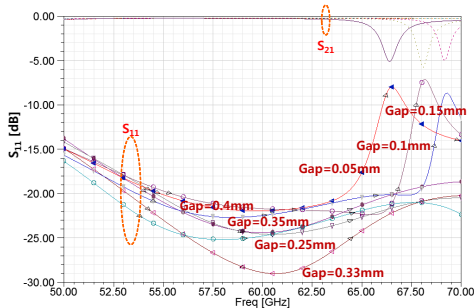


그림 7. gap값에 따른 S_{11}
 Fig. 7. S_{11} depends on gap values

그림 6은 l_2 값의 변화에 따른 안티포달 변환기의 반사손실 특성을 보여주고 있다. l_2 값이 증가함에 따라 공진 주파수가 낮아지고 있는 경향을 뚜렷이 보이고 있어 l_2 값이 공진 주파수를 조절할 수 있는 주요 변수가 됨을 알 수 있다. 그러나 실제로 설계할 때에 l_2 값의 크기만으로 공진 주파수를 조절하기에는 한계가 있었고 그림2에 보인 반원 모양의 패치를 추가함으로써 공진 주파수를 제어할 수 있는 폭을 확대할 수 있었다.

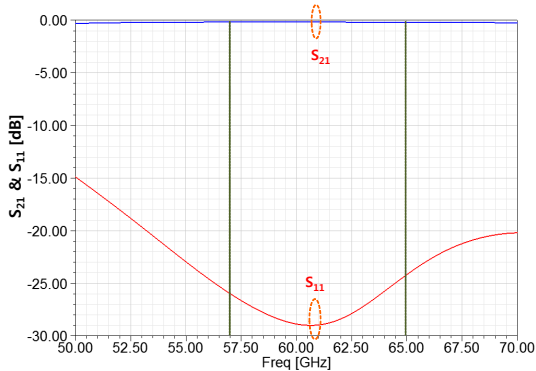


그림 8. 5세대 이동통신용으로 설계된 안티포달 핀라인 변환기의 특성
 Fig. 8. Characteristics of antipodal finline transition designed for the 5G mobile systems

그림 7은 핀라인과 반원 모양의 패치 사이의 간극(gap) 크기의 변화가 안티포달 변환기의 반사손실에 미치는 영향을 보여준다. l_2 값 뿐 만 아니라 간극(gap)도

반사손실에 상당한 영향을 미쳐 주요 설계변수가 됨을 알 수 있다.

그림 8은 5세대 이동통신용으로 설계된 안티포달 핀라인 변환기의 특성을 보여준다. 57GHz에서 반사손실은 -26dB, 삽입손실은 -0.22dB이고, 65GHz에서 반사손실은 -24.2dB, 삽입손실은 -0.24dB로서 사용하고자하는 V-밴드 내 57-65GHz 대역에서 반사손실은 -24.2dB 이하이고, 삽입손실은 -0.24dB 이하로서 매우 양호한 특성을 보여준다.

V. 결론

5세대 이동통신 시스템에 적용하기 위한 안티포달 핀라인 도파관 변환기를 설계하였다. 핀라인 테이퍼 형태를 설계하기 위해 선형 테이퍼에 곡률변수를 통해 곡률을 추가시켜 스플라인 테이퍼를 구하는 방식을 제안하였으며 이를 통해 보다 효율적으로 최적화를 할 수 있었다. 안티포달 변환기의 성능은 테이퍼 형태에 의해 가장 크게 좌우되었다. 변환기 내에서 발생하는 공진은 변환기의 성능을 저해하는 가장 큰 요인이었으며 반원 모양의 패치(patch)를 사용하여 공진 문제를 완화시킬 수 있었다 설계한 안티포달 변환기는 사용하고자 하는 대역(57-65GHz)에서 반사손실 -24.2dB 이하, 삽입손실 -0.24dB 이하로서 매우 양호한 특성을 나타냈다.

References

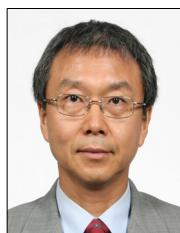
- [1] R. Taori, and A. Sridharan, "In-Band, Point to Multi-point, mm-Wave Backhaul or 5G Networks," ICC'14-W8: Workshop on 5G Technologies, pp.96-101, 2014.
- [2] M. Coldrey, U. Engstrom, K. Helmersson, M. Hashemi, L. Manholm and P. Wallentin, "Wireless backhaul in future heterogeneous networks" Reicsson Review, pp.1-11, October 2014.
- [3] C. Park, "A study on WiMAX Backhaul in Mobile Communication Network", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 14, No. 2, pp.59-64, Apr. 30,

2014.

- [4] C. Park, "AQoS Functions in Mobile Backhaul Network", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, VOL. 13, No. 5, October 2013.
- [5] S. Jing, L. Fa-guo, H. Li-hua, S. Xiao-ying, and Z. Yan-qio, "Waveguide-to-Microstrip Antipodal Finline Transistor at W Band," Third International Conference on Istrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control, pp.510-513, 2013.
- [6] A. Ishikawa and T.Uebo, "A Design of 79GHz Band Coaxial Waveguide Transition using Finline Built on High-Permittivity Substrate", IProceedings of the International Symposium on Elecromagnetic Theory, pp.489-492, 2013.
- [7] R. Bai, Y. Dong, and J. Xu, "Broadband Waveguide-to-Microstrip Antipodal Finline Transition without Additional Resonance Preventer", IEEE Internal Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies For Wireless Communications, pp.385-388, 2007.

저자 소개

기 현 철(정회원)



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업.(공학사)
- 1986년 8월 : 한양 대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학박사)
- 1986년 ~ 1989년 : 한국 전자통신연구원 연구원

- 1996년 ~ 1997년 : 미국 조지아공대 post.doc
- 2010년 ~ 2012년 : 미국 UCLA 객원교수
- 1992년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수.

<주관심분야> : RFIC설계, Meta-material 응용, 아날로그 회로설계, 광통신용고속IC설계