무선 주파수 전력 측정을 위한 광대역 전력 센서 개발

황문수¹, 나인호¹, 구자경¹, 임종식^{1*}, 안달¹
¹순천향대학교 전기통신공학과

Development of a Wideband Power Sensor for the Measurement of Wireless Power

Mun-Su Hwang¹, Inho Na¹, Jongsik Lim^{1*} and Dal Ahn¹

¹Department of Electrical and Communication Engineering, Soonchunhyang University

요 약 본 논문에서는 300~3800MHz 주파수 대역에서 150mW~150W의 평균전력과 피크 전력을 검출할 수 있는 무선전력 검출센서의 개발에 대하여 기술하고 있다. 제안된 무선전력 센서는 기본적으로 전력의 크기를 검출하는 기능 외에 입력 신호의 주파수를 알아낼 수 있는 기능과 VSWR 측정 기능을 가지고 있다. 본 논문의 검출 센서는 듀얼 방향성 결합기의 설계, 입력 전력을 검출하여 DC 데이터로 분석할 수 있는 전력 검출부의 설계, 정확한 캘리브레이션 데이터 추출 방법 등의 세부 과정을 통하여 개발이 완성된다. 개발된 듀얼 방향성 결합기는 300~3800MHz 대역에서 0.085dB의 삽입손실과 3.8GHz에서 최소 30dB의 directivity 성능을 가지고 있다. 개발된 무선전력 센서는 주파수 결정능력과 함께 순방향 입력전력의 크기를 0.25dB 이내의 오차로 분석할 수 있고, 300~3800MHz의 주파수에서 150W의 고출력 동작에서도 1.17~1.96의 VSWR을 측정할 수 있는 성능을 지닌다.

Abstract This paper describes the development of a power sensor for wireless signal over the ultra wideband range of 300~3800MHz with the detecting range of 150mW~150W. The proposed power sensor fundamentally has the function of not only detecting wireless power, but recognizing frequency and measuring VSWR. The development of the power sensor is completed through the design of dual directional coupler, design of power detector block which produces DC data using the corresponding RF input power level, and establishment of collecting the exact calibration data. The dual directional coupler has the operating frequency of 300~3800MHz with the 0.085dB of insertion loss, and directivity of 30dB at least at 3800MHz. The developed power sensor has the capability of power sensing with less than 0.25dB of resolution as well as measuring VSWR of 1.17~1.96 under the practical operating situation of very high power up to 150W at 300~3800MHz.

Key Words : Power sensor, Dual directional coupler, Directivity

1. 서론

무선 RF 시스템에서 전력의 크기를 측정하는 전력 검출 장비의 응용 범위는 매우 다양한데, 지난 수년 동안 이동통신 시스템의 급속한 발전과정을 통해서 800MHz 대의 셀룰러 대역, 1.6GHz대의 PCS 대역은 물론 2.1GHz 대의 WCDMA와 2.6GHz 및 3.5GHz대의 WiMAX까지 광대역에 걸쳐서 사용 주파수가 다변화되었다. 이러한 무

선 중계 시스템의 원활한 운영을 위해 측정되어야 할 가장 중요한 파라미터는 일정한 범위를 유지하는 전력 또는 원하는 값으로 가변되는 전력이며, 이 값들을 계속 및 모니터링 하는 것이 중계기 유지운영에 관한 매우 중요한 업무 중 하나가 되었다. 따라서 이러한 시스템들 개개의 주파수별로 전력측정 장비를 따로 갖추는 것보다는 이들을 모두 통합하여 하나의 계측장비로 전력을 측정할 수 있는 휴대용 광대역 전력 분석 장비를 개발하는 것에

*교신저자 : 임종식(jslim@sch.ac.kr)
접수일 09년 09월 18일

수정일 09년 10월 16일

게재확정일 09년 11월 12일

대한 필요성이 점점 증가되고 있다.

전력 검출 센서는 사용 목적에 따라서 구조적으로 종단형(termination type)과 방향성형(directional type)으로 나눌 수 있다. 종단형은 입력된 신호를 입력단의 저항으로 구성된 감쇄기를 통해서 작은 신호로 만든 다음 신호를 DC 레벨로 변환하여 전력을 분석한다. 방향성형의 경우 방향성 결합기와 전력검출부가 결합된 형태로 구성되는데, 결합기로부터 커플링된 신호에 대해서 DC 레벨로 변환하여 전력을 검출하는 구조를 가지고 있다. 따라서 커플러를 통하여 이미 일정 수준의 감쇄가 이미 이루어진 신호가 검출된다고 할 수 있다[1-3].

두 가지의 구성이 이처럼 약간 다른데, 종단형의 경우 높은 입력 전력을 직접 받아들이기가 어려운 반면에, 방향성형의 경우 검출부에 인가되는 전력이 커플러를 통하여 이미 크게 감쇄가 이루어진 상태에서 측정되므로 이동통신용 기지국이나 광대역 케이블 네트워크와 같이 시스템에서의 전력 검출을 위한 별도의 전력 측정용 단자가 없는 상태에서 높은 전력을 측정할 경우에 주로 사용된다. 특히 방향성형의 경우 측정 가능한 입력 전력을 높일 수 있다는 구조적인 장점이 있기 때문에 그 쓰임새가 더욱 중요해지고 있다. 이러한 장점을 필요로 하는 용도를 위하여 본 논문에서는 300~3800MHz에 이르는 광대역의 주파수 특성과 150mW~150W에 걸친 넓은 전력 측정 범위를 가지는 휴대용 무선 전력검출 센서의 개발에 대하여 기술하고자 한다[4-6].

2. 전력센서의 구성과 설계

그림 1은 본 연구에서 개발하고자 하는 방향성형 전력 검출센서의 구조도이다. 구현하고자 하는 전력 센서의 기능은 다음과 같다. 무선통신 중계시스템에서 임의의 주파수 대역에서의 출력전력은 안테나를 통해 방사되는데, 그림 1과 같이 전력 센서를 통해서 송신되는 전력의 크기를 모니터링 한다. 그림 1에서 ②번 입력단자를 통해 신호가 들어오는 방향을 순방향(forward)라 하고 이에 대한 평균 전력과 피크 전력을 검출한다. 그리고 안테나에서 반사되어 되돌아오는 신호가 ①번 단자를 통해서 역방향(reverse)로 입력되면 이에 대한 평균 전력을 검출한다. 따라서 순방향 평균전력, 순방향 피크 전력, 역방향 평균 전력을 측정할 수 있으므로, 이들의 크기를 비교하여 고 출력 송신 동작시의 안테나의 정재파비(standing wave ratio, SWR)까지 계산할 수 있다.

[그림 1] 방향성형 전력 센서의 전력측정 기능을 보여주는 블록도

2.1 설계목표 및 필요한 연구과정

방향성형 전력검출 센서의 주요 설계 사양이 표 1에 정리되어 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 목표를 달성하기 위하여 다음과 같은 세부 연구 과정을 분류해 볼 수 있다. 첫 번째는 300~3800MHz에 이르는 광대역의 주파수 대역에서 최대 150W의 입력 전력에 대한 검출 신호를 추출할 수 있어야 하고, 또한 안테나에서 반사되어 역방향으로 되돌아오는 신호를 추출할 수 있는 듀얼 커플러를 개발해야 한다는 점이다. 두 번째는 상용으로 사용되는 계측도구를 이용하여 300~3800MHz 대역에서 21.76~51.76dBm의 전력 범위의 신호에 대한 전력검출기의 DC 출력 정보를 측정하는 캘리브레이션 데이터(calibration data)를 추출하는 방법에 대한 연구이다. 사실 높은 전력에 대한 직접적인 검출이 어렵기 때문에 이에 대한 연구가 매우 중요하다. 세 번째는 각 주파수 대역에서 커플링되는 신호의 크기가 일정하지 않기 때문에 입력되는 신호의 주파수를 허용범위 오차 내에서 근사적으로 판별할 수 있어야 하는데, 이를 위해서 주파수를 판별할 수 있는 회로 구조와 알고리즘을 구현해야 한다는 점이다. 네 번째는 측정 오차를 줄이고 또한 많은 측정 데이터를 처리하여 실제 측정 데이터를 얻어낼 수 있어야 한다는 점이다.

[표 1] 방향성형 전력 센서의 개발 사양

	Specifications
Frequency Range	300~3800MHz
Power Range	150mW~150W
VSWR	1.15, max
Insertion Loss	300MHz to 1GHz < 0.1dB 1GHz to 3.8GHz < 0.15dB
Directivity	300MHz to 3GHz > 30dB 3GHz to 3.8GHz > 28dB
Measurement Mode	Forward : average/peak power Reverse : average power

2.2 전력 센서의 구조

그림 2는 방향성형 전력센서의 기본적인 회로 구성을 보여주고 있다. 상부의 점선 사각형은 듀얼 방향성 결합기를 가리키는데, 공기 유전체를 관통하는 가늘고 긴 금속 봉(round conductor)에 대해서 두 개의 커플러 정션(junction)으로 구성된 구조를 갖는다. ②번 단자는 순방향의 입력 단자이고 ①번 단자는 ②번 단자의 입력신호에 대한 전달(through) 단자로 안테나와 접합된다. ②번 단자를 통해 입력된 신호는 순방향측 커플링 구조를 통해 신호의 일부가 결합되고 이 신호는 다시 -6dB 전력 분배기를 거쳐 분배된다. 분배된 신호는 커플러의 특성을 모니터링하기 위한 ④번 단자와 전력센서회로(아랫측 큰 점선 사각형)의 입력으로 들어간다. 한편 ①번 단자로 전달된 전력은 안테나를 통하여 방사되는데, 이 때 안테나에서 반사된 신호는 역방향으로 전달되면서 두 번째 커플러를 거쳐서 ③번 단자에서 모니터링된다. 따라서 ④, ③번 단자에서의 전력값은 입력 대 반사전력의 비 즉, VSWR 계산에 이용되는데, ④, ③번 단자는 또한 커플러만의 특성을 확인하기 위한 기능과 캘리브레이션 데이터를 얻기 위한 단자이기도 하다.

[그림 2] 방향성형 전력 센서의 회로 구성도

그림 3과 그림 4는 방향성형 전력 센서 개발 전에 개발한 단일 방향성 결합기의 실물 개발 사진과 이것의 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 4에서 m1으로 표시한 S21은 단자 2와 단자 1 사이의 통과(through) 특성을 보여주는데 삽입 손실(insertion loss)이 0.003dB에 불과할 정도로 극히 작음을 보여준다. m2와 m3으로 표시한 것은 단자 4와 2사이 또는 단자 3과 단자 1사이의 커플링을 보여주는 특성그래프이다. 300~3800MHz의 광대역이므로 커플링값이 모든 주파수 대역에서 정확하게 하나의 값으로 동일하게 나온다는 것은 불가능하다[1,2]. 따라서 커플링 값에 따라서 현재 어떤 주파수에서 동작하는지

주파수를 판별하는 기능이 추가되어야 함을 엿볼 수 있다. 한편 m4로 표현한 것은 단자 1과 단자 4 또는 단자 2와 단자 3 사이의 격리(isolation) 특성이 -52dB 이하로 매우 우수함을 보여준다.

그림 2의 아래 점선 사각형에서 (1)번과 (2)번 블록의 회로 구조에서는 -6dB 전력 분배기를 통해 전력이 인가되며, 순방향 입력전력의 크기가 DC 레벨의 정보로 검출되기 위한 평균전력 검출회로가 설계된다. 또한 (1)번과 (2)번 검출회로는 주파수 판별 기능을 겸한다. (3)번 블록에서는 피크 전력(peak power) 검출을 위한 검출기 회로가 위치하며, (4)번 블록에서는 안테나에서 반사되어 되돌아 오는 역방향의 평균 전력을 검출하는 기능을 한다. 각 검출기 블록의 전단에는 검출기의 동작 입력 레벨을 맞춰주기 위해서 저항으로 구성된 감쇄기가 위치하며, 온도에 대한 오차를 줄이기 위해 각 검출기 출력단에 온도 보상 회로가 추가된다[7,8].

[그림 3] 제작된 단일 방향성 결합기 (a)조립 사진 (b) 하우징 내부 사진

[그림 4] 방향성 결합기의 측정 특성

2.3 검출된 무선 신호의 주파수 판별

본 절에서는 주파수와 전력을 판별할 수 있는 캘리브레이션 데이터에 관하여 기술한다. 주파수를 판별하는 회로가 필요한 이유는 앞에서도 언급했듯이 방향성 결합기의 커플링 값이 광대역 동작시 각 주파수마다 조금씩 다르므로, 이로 인해 검출회로에서 검출된 데이터로부터 정확하게 주파수와 전력값을 직접적으로는 판별해 낼 수 없기 때문이다. 따라서 현재 검출한 무선 전력 신호가 어떤 크기를 갖는가를 검출하기에 앞서 주파수가 얼마인지를 먼저 판별하는 것이 중요하다.

주파수를 판별하기 위하여 그림 2의 (1)번과 (2)번 블록의 전력검출기의 주파수에 따른 신호의 출력 차이를 이용한다. 이를 위해 (1)번 블록의 검출기 회로에 L-C로 구성된 저역통과여파기(low pass filter, LPF)를 삽입하여 (1)번과 (2)번 블록의 두 출력의 기울기에 차이가 나게 하여, 최종적으로는 DC 레벨의 출력과 두 출력의 차이값을 이용하여 주파수와 입력 전력을 판별할 수 있는 정보를 얻는다. 그림 5는 이를 측정으로 사전 검증하기 위해 주파수 판별 블록을 별도로 제작한 사진을 보여주고 있고, 그림 6은 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 6(a)에서 "Reference"로 표시한 것은 LPF가 없는 경우이므로 그림 6(b)에 보인 두 검출값의 차이("Delta")를 이용하면 현재 입력중인 무선신호의 주파수를 판별할 수 있게 된다.

[그림 5] 주파수 판별을 검증하기 위한 회로의 별도 제작 사진

[그림 6] 제작된 주파수 판별 회로의 측정 결과

3. 무선전력 검출센서의 제작

무선전력 센서는 무선 회로 부분과 이를 DC로 검출하는 부분, 그리고 DSP 처리 부분 등이 소형화를 위한 고밀도로 통합되어 제작되어야 하므로 처음부터 다층 기판 구조를 염두에 두고 제작되어야 한다. 본 논문에서는 이를 위하여 그림 7과 같이 4층 구조의 PCB를 이용하여 제작하였다. 4개의 FR-4층으로 인한 총 두께는 1.6mm인데, 첫 번째 층에는 집중소자, 전력검출 회로 및 DSP 부분의 소자들이 존재하며, 두 번째 층에는 접지층이 자리잡는다. 또한 세 번째 층에는 각 소자에 대한 입력 전압을 공급하기 위한 전원 라인이 위치하는데, 세 번째 층의 비아 홀을 통해서 각 소자에 대한 전압 공급이 이루어진다. 제일 밑층에는 디지털 회로 구성에 필요한 소자들이 위치하게 된다. 본 논문에서는 평균전력과 피크전력 검출을 위하여 아날로그 디바이스사의 AD8362와 AD8319를 사용하였다.

[그림 7] 방향성형 전력 검출 센서를 위한 다층 기판 구조도

[그림 8] 방향성형 전력검출 센서의 제작 사진

그림 8은 제작된 무선전력 검출센서의 사진이다. 이 사진은 PCB 기판에 각종 부품들이 모두 조립되어 하우징에 장착된 상태의 사진이다. 조립된 검출 센서는 총 4개의 출력 단자로 구성되어 있는데, 디지털 값의 출력은 RS-232 단자를 통해서 컴퓨터로 입력되어 측정된다. USB 단자는 디지털 프로세서의 프로그램 입력과 검출센

서 내부 축전지의 충전을 위한 단자이다. 뒷면에는 자체적인 전원공급을 위해서 배터리의 수납공간이 존재하게 된다.

4. 무선전력 검출센서의 캘리브레이션 데이터 획득 방법

본 논문에서는 방향성형 전력 센서의 전력검출 오차를 0.2dB 이내로 얻고자 한다. 따라서 매우 정확한 캘리브레이션 데이터가 필요하다. 데이터 확보 과정에서, 상용 무선주파수 신호발생기와 광대역 구동증폭기의 출력 전력이 수십 Watt 급으로 갈 수 없는 한계점이 있기 때문에 본 연구에서는 1, 2번 단자를 50ohm 으로 종단시키고 커플링 단자인 3, 4번 단자를 통해서 상대적으로 작은 전력을 입사시켜 정확한 캘리브레이션 데이터를 얻는 방법을 사용하였다. 이 측정 방법은 실제 1, 2번 단자로 신호가 입사되었을 때의 전력에 대하여 방향성 결합기에서의 커플링 값을 계산하여 3, 4번 단자를 통해서 해당되는 크기의 신호를 입력하므로 매우 정확하다.

[그림 9] 캘리브레이션 데이터를 얻는 1단계 측정 방법 구성도

그림 9는 캘리브레이션 데이터를 얻는 1단계 측정방법을 설명하기 위한 구성도이다. 먼저 신호발생기와 구동증폭기를 이용하여 300~3800MHz 주파수 대역에서의 어떤 입력 전력(가령 21.76dBm)을 단자 2에 인가한다. 그리고 이에 대한 REF 단자의 DC 출력을 확인하고 편의상 1번 데이터라 정의한다.

[그림 10] 캘리브레이션 데이터를 얻는 2단계 측정 방법 구성도

그림 10은 2단계 측정 방법을 설명하기 위한 구성도이다. 각 단자에서의 측정값과 커플링값으로부터 계산하여 입력 전력(21.76dBm)에 해당하는 전력을 단자 4에 인가한다. 그리고 이에 대한 REF 단자의 출력 결과를 2번 데이터라고 정한다. 이것을 1번 데이터와 크기를 비교하고, 만약에 2번 데이터가 1번 데이터보다 작다면 초기 입력 전력을 높여 다시 측정한다.

결론적으로 목표로 하는 것은 1단계의 REF 단자의 출력 결과와 2단계의 REF 단자의 출력 결과를 검출기의 DC 출력을 통해서 대응(mapping)시키는 것이고, 이로부터 측정하고자 하는 주파수에서 단자 4에서의 정확한 입력 전력을 찾는 것이다.

앞의 측정을 통해 얻은 값을 그림 11과 식 (1),(2)에 보인 일차함수의 기울기를 구하는 방정식에 적용하면 단자 4의 입력 전력을 정확히 구할 수 있다. 보통 한 번의 계산으로 맵핑(mapping)되기는 어려우며 두 번 이상의 계산이 요구된다.

$$\frac{Y - Y_1}{X - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (1)$$

$$X = \frac{(X_2 - X_1) \times (Y - Y_1)}{Y_2 - Y_1} + X_1 \quad (2)$$

X : Main input Ref. DC Output

X₁ : ② 21.76dBm SMA input Ref. DC Output (low comparison data)

X₂ : ③ 21.76dBm SMA input Ref. DC Output (high comparison data)

Y : ① SMA Port mapping input power

Y₁ : ② Input power (low comparison data)

Y₂ : ③ Input power (high comparison data)

[그림 11] 선형 X-Y 1차 함수 그래프

[그림 12] 정밀한 캘리브레이션 데이터를 얻는 최종 측정 구성도

그림 12는 본 논문에서 캘리브레이션 데이터를 얻기 위한 최종 구성도이다. 두 단계에 걸쳐서 전력을 인가하는데, 이는 사용했던 Agilent 8257D 신호발생기의 입력 전력이 -50dBm 이하인 구간에서 0.2dB 이상의 오차를 제측기가 기본적으로 가지고 있기 때문이다. 그래서 ①번 측정 절차는 신호발생기의 최대전력 인가 범위에서 측정하고자 하는 전력을 인가하며, ②번은 더 큰 전력 측정시 구동증폭기를 연결하여 신호를 증폭시켜 전력을 인가한다. 중간에 연속되는 전력의 크기를 정확히 연결하기 위해서는 식 (1)을 이용하여 맵핑(mapping)한다. 그리고 인가되는 전력의 정확한 증가를 확인하기 위해서 중간에 별도의 전력증가 모니터링용 회로를 zig로 꾸며서 사용한 다.

전력 센서의 성능 측정을 위하여 VEE 프로그램을 사용하였는데, 300~3800MHz의 주파수 대역에서 캘리브레이션 데이터의 정확도를 높이기 위해 10MHz 단위로 측정하였다. 순방향의 경우 21.76~51.76dBm의 전력에 대해 1dB 간격으로 측정하였고, 역방향의 경우 안테나에서의 최악의 반사계수를 약 -10dB로 설정하여 최대 42dBm까지 1dB 간격으로 측정하였다. 평균전력일 경우에 순방향과 역방향 측정 데이터로부터 입력전력의 크기는 물론 VSWR까지 동시에 얻을 수 있으며, 피크 전력은 순방향으로 측정한 데이터로부터 얻는다.

5. 무선전력 검출센서의 측정 결과

그림 13은 방향성형 전력센서에 포함되는 듀얼 방향성 결합기를 측정한 성능이다. 앞의 그림 4는 전력 센서 개발 초기 단계에서 설계,제작한 단일 방향성 결합기의 성능이고, 그림 13은 전력 센서에 포함된 양방향성 듀얼

방향성 결합기의 특성임을 구별할 필요가 있다. 측정결과 결합기의 삽입 손실이 최대 0.085dB이며, directivity는 3.8GHz에서 설계사양인 28dB 이상의 측정값을 보이고 있다.

그림 14의 두 그림은 역방향 평균전력 측정때 0~42dBm의 전력에 대한 결과를 나타내고 있다. 실제 측정시 10MHz 단위로 측정했으나, 데이터 양이 너무 많으므로 알아보기 쉽게 구분하여 나타내기 위하여 위해서 그래프는 50MHz단위로 출력 결과를 나타내었다. 입력 전력에 대하여 선형적인 증가를 가지는 출력 결과를 얻을 수 있었는데 이로부터 입력 신호의 주파수 판별 및 전력의 크기를 판별해 낼 수 있다. 또한 순방향 입력전력과 역방향 반사전력 값으로부터 기지국 송신 안테나의 고출력 전송 상태에서의 VSWR을 측정할 수 있는데, 측정 결과 1.17~1.96의 값을 가짐을 알 수 있었다.

그림 15는 순방향 측정시 피크 전력의 크기를 보여준다. 피크 전력일 경우도 전력의 크기와 주파수에 따라 선형적인 특성을 가져서 검출한 데이터로부터 원하는 값을 쉽게 얻을 수 있다.

[그림 13] 듀얼 방향성 결합기의 측정결과

(a)

(b)

[그림 14] 방향성형 전력 센서의 주파수와 전력레벨에 따른 평균전력 측정 결과. 단자 3을 기준으로 (a) 0~24dBm (b) 25~42dBm의 입력범위에 대한 역방향 측정 결과임.

[그림 15] 방향성형 전력 센서의 순방향 피크전력 측정 결과 (21.76~51.76dBm)

6. 결론

본 논문에서는 300~3800MHz의 광대역 주파수 대역에서 150mW~150W의 전력 검출 범위를 갖는 방향성형 무선 전력 센서의 설계 및 측정결과에 대하여 기술하였다. 이를 위해서 본 논문에서는 광대역 듀얼 방향성 결합기 설계 기술, 주파수 판별 알고리즘 및 회로 개발, 1W 미만의 저전력 상용 계측기를 이용하여, 고전력 송신 동작하에서의 정확한 캘리브레이션 데이터를 측정하는 방법 등에 대하여 연구한 결과를 논하였다.

측정 결과 듀얼 방향성 결합기는 삽입 손실이 최대 0.085dB에 불과하였고, directivity값도 3.8GHz에서 최소 30dB의 이상으로 우수하게 측정되었다. 또한 개발한 주파수 판별 및 전력값 결정 방법에 있어서도 매우 우수한 결과를 얻었는데, 최종적으로 측정을 통해서 얻은 캘리브

레이션 데이터를 통해 얻은 전력 센서의 성능 분석시 0.25dB 이내의 오차로 전력을 분석할 수 있었다. 또한 측정 결과로부터 기지국 안테나가 고출력 송신 상태에서 1.17~1.96의 VSWR을 가짐을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] R. Mongia, I. Bahl and P. Bhartia, J. Hong, *RF and Microwave Coupled-Line Circuits*, Artech House, 1999, Boston.
- [2] S. Shamasundara and N. Singh, "Design of coupled microstrip lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-25, pp. 232-233, Mar. 1977.
- [3] 황문수, 임종식, 양규열, 안달, "무선통신시스템 송신측 제어를 위한 초소형 LTCC 전력검출부의 설계," 한국과학기술학회논문지 제 9권, 제 3호, pp. 621~627, 2008년 6월.
- [4] G. Klahn, "True RMS Power Detection with High Dynamic Range", *1999 International Microwave Symposium Digest*, Vol. 4, pp. 1773-1776, Jun. 1999.
- [5] D. Mauritzen and M. Alam, "Comments on Accurate measurement of power, energy, and true RMS voltage using synchronous counting", *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 46, pp. 1300-1301, Dec. 1997.
- [6] Y. Zhou and M. Chia, "A Low-Power Ultra-Wideband CMOS True RMS Power Detector", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 56, no. 5, pp. 1052-1058, May 2008.
- [7] Agilent Technologies, *Application Note 963 - Impedance Matching Techniques for Mixers and Detectors*.
- [8] Agilent Technologies, *Application Note 1187 - Design of an input Matching Network for DC biased 850MHz Small Signal Detector*.

황 문 수(Mun-Su Hwang)

[정회원]

- 2006년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2008년 8월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 (공학석사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 카이로넷 연구원

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 발진기, 전력 검출 분야 등

임 종 식(Jongsik Lim)

[정회원]

- 1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과 재직중

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등.

나 인 호(Inho Na)

[정회원]

- 2007년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 (공학석사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 이룸테크 연구원

<관심분야>

초고주파 무선 수동 회로/부품 설계, 전력검출 분야 등

안 달(Dal Ahn)

[정회원]

- 1984년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1992년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

- 1992년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과 재직중

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등.

구 자 경(Jakyung Koo)

[준회원]

- 2008년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

초고주파 무선 능동/수동 회로/부품 설계 분야 등