잡음원 교정용 W-대역 도파관 잡음 측정 시스템의 성능 평가

Performance Evaluation of a W-Band Waveguide Noise Measurement System for Calibrating Noise Sources

강태원 · 김정환 · 권재용 · 강진섭

Tae-Weon Kang · Jeong-Hwan Kim · Jae-Yong Kwon · Jin-Seob Kang

요 약

W-대역 도파관 잡음원 교정을 위한 잡음 측정 시스템을 구성하고, 기본적인 특성에 대하여 논하였다. 잡음 측정 시스템은 상용 잡음 지수 분석기, W-대역 주파수 변환기, 그리고 국부발진기로 구성되어 있다. 일반적으로 잡음원 교정에는 Y인자법이 사용된다. Y인자법에서는 잡음 수신 시스템의 출력이 입력 잡음 전력과 선형적이라는 가정을 전제한다. 그러므로 잡음 측정 시스템의 선형성은 시스템의 성능을 결정하는 기본적인 파라미터이다. 잡음 측정 시스템의 선형성은 믹서부, 중간 주파수(IF)부, RF부로 나누어 평가하였으며, 각각 0.24 dB, 0.05 dB, 0.20 dB이다. 또, 잡음 측정 시스템의 잡음 지수는 7~17 dB로 평가되었다. 이 잡음 측정 시스템은 잡음원 교정뿐만 아니라, 여러 가지 전기전자 소자, 기기, 그리고 시스템의 잡음 특성 평가에도 활용될 것이다.

Abstract

A W-band waveguide noise measurement system for calibrating noise sources was implemented and its basic characteristics were discussed. The measurement system consists of a commercial noise figure analyzer, a full W-band frequency converter, and a local oscillator. To measure the noise temperature of a noise source, the Y-factor method is generally used. Since the Y-factor method is based on the assumption that the receiving system is linear, linearity is one of important performance parameters of the measurement system. In this paper, the linearities for mixer, intermediate frequency(IF), and RF parts were evaluated to be 0.24 dB, 0.05 dB, and 0.20 dB, respectively. The noise figure of the measurement system evaluated is 5 dB to 17 dB in W-band. The measurement system can be used to measure thermal noise characteristics of electronic and electrical devices, equipments, and systems as well as to calibrate noise sources.

Key words : Noise, Noise Temperature, Noise Figure, W-Band, Y-Factor Method

I. 서 론

전자파 수신 시스템의 성능은 여러 가지 요인들

에 의해 영향을 받으며, 그 중에서 잡음은 가장 기본적인 요인들 중의 하나다. 특히, 미약한 전파 신호를 수신하는 위성 통신이나 우주 천체 관측 분야에서

「이 연구는 2013년도 한국표준과학연구원의 일반과제 ‘차세대 전자파 측정표준 기술개발’의 연구비 지원으로 연구되었음(한국표준과학연구원-13011011.)」

한국표준과학연구원 기반표준본부 전자파센터(Center for Electromagnetic Wave, Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standard and Science)

· Manuscript received January 2, 2013 ; Revised February 5, 2013 ; Accepted February 15, 2013. (ID No. 20130102-002)

· Corresponding Author : Tae-Weon Kang (e-mail : twkang@kriss.re.kr)

수신 시스템의 잡음은 매우 중요한 요인이다. 이 논문에서는 발생 원인별로 구분되는 여러 잡음들 중에서 열 잡음(thermal noise)을 다룬다. 열 잡음은 도체나 반도체 속의 전자의 열 요동(fluctuation)에 의해 생기는 전기 잡음이며, 자유전자의 이 랜덤한 운동은 온도에 비례하여 강해진다. 또한, 열 잡음은 유효 주파수 범위에 걸쳐 거의 일정한 에너지 스펙트럼을 가진다.

잡음 전력은 반도체 소자나 진공관 내부의 전하 흐름, 전리층이나 이온화된 가스층을 지나는 전파 전파, 보다 근원적으로는 절대 영도보다 높은 온도 상태에서 전기전자 부품의 열 변화(thermal variation) 등과 같은 랜덤 프로세스의 결과로 발생된다^[1]. 잡음은 외부에서 수신 시스템 내부로 들어가거나 시스템 내부에서 발생된다. 이와 같은 잡음의 크기는 수신 시스템이 감지할 수 있는 신호의 최저 레벨을 결정한다. 레이더나 통신 시스템에서는 최고의 성능을 목적으로 잡음을 최소화시킨다. 반면에 전파 천문 분야의 전파 관측 시스템에서는 안테나의 수신 잡음 전력 자체가 수신 시스템의 입력이 된다. 후자의 경우에는 수신된 잡음과 수신 시스템 내부에서 발생된 잡음을 구분해야 한다.

본 논문에서는 W-대역(75~110 GHz)에서 잡음원의 잡음 전력을 측정하기 위한 잡음 측정 시스템과 그 잡음 지수를 다룬다. 2장에서는 잡음 측정 시스템의 구성과 특징을 기술하고, 3장에서는 성능 평가 방법과 결과를 보인다. 끝으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. W-대역 잡음 측정 시스템

2-1 잡음 측정 시스템의 구성

W-대역 잡음 측정 시스템은 주파수 변환기(frequency converter), 국부 발진기(Local Oscillator: LO), 그리고 수신기로 구성된다(그림 1 참조). 여기서 잡음 측정 시스템은 자체 잡음이 작게 설계되어 매우 낮은 잡음을 측정할 수 있는 고감도 측정 시스템을 말한다.

첫째, 주파수 변환기는 아이솔레이터, 저잡음 증폭기, 서로 다른 두 주파수의 전자파 신호를 혼합하여 중간 주파수(Intermediate Frequency: IF)로 변환시키는

혼합기(mixer), IF 증폭기로 구성된다. 주파수 변환기 입력단과 저잡음 증폭기 사이에는 25 dB isolation의 아이솔레이터(isolator)가 삽입되어 있어서 RF 입력단에 연결되는 피측정 잡음원의 임피던스 변화에 따른 수신기의 출력 변화를 줄여준다. 주파수 변환기의 변환 이득은 75~110 GHz에서 10 dB 이상, 잡음 지수는 20 dB(SSB) 이하이다. 잡음 측정 시스템의 IF 주파수는 11.139 MHz이다.

둘째, LO는 주파수 변환기 내부에 고정 설치되어 있거나 별도로 외부에서 공급한다. 본 논문의 주파수 변환기는 외부 LO를 사용하며, W-대역 전범위에서 동작한다. 주파수 변환기 내부의 혼합기는 국부 발진기에서 나온 신호의 주파수를 6배로 높여 사용하므로 외부 LO의 주파수 범위는 12.50~18.33 GHz이다.

셋째, 수신기는 상용 장비를 구입하거나 특별히 제작하여 사용할 수 있다. 이 논문에서 수신기는 상용 잡음 지수 분석기(noise figure analyzer, NFA)이며, 동작주파수 범위는 10 MHz~26.5 GHz이다. 수신기의 RF 입력단에 들어오는 신호는 주파수 변환기의 IF 출력 신호이며, 주파수는 11.139 MHz이다. 이 주파수에서 잡음 지수 분석기의 잡음 지수는 제작자 규격에 의하여 $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ 에서 $4.41\text{ dB} (= 4.40\text{ dB} + 0.00117 \times 11.139)$ 이다.

2-2 잡음 측정 시스템의 잡음 지수

잡음은 잡음 온도나 잡음 지수로 나타낸다. 이 논문에서 다루고 있는 잡음 측정 시스템은 미지의 잡음원에 대한 잡음 온도를 측정하고자 함이다. 그림 1은 전(全)전력형 잡음 측정 시스템이며, 입력되는 잡음 전력을 그대로 직접 측정하는 것을 특징으로 한다. 참고로 Dicke 라디오미터는 측정하고자 하는 잡음 전력을 기준 잡음 전력과 스위칭 방식으로 비교함으로써 감도를 높이고 시스템 편이에 의한 영향을 줄였다^[2].

잡음 측정 시스템은 주파수 변환기, 국부 발진기, 잡음 지수 분석기로 구성되며, 그림 1에 보였다. 이 시스템으로 미지 잡음원의 잡음 온도 T_x 를 측정하기 위해서는 서로 다른 잡음 온도 T_{s1} , T_{s2} 의 기준 잡음원을 사용한다. 일반적으로 잡음 측정에서는 Y 인자법(Y-factor method)이 사용된다^{[3][4]}. 그림 1에서

그림 1. 주파수 변환기, 국부 발진기, 잡음 지수 분석기로 구성된 잡음 측정 시스템

Fig. 1. The noise measurement system consisting of a frequency converter, an external LO, and a noise figure analyzer.

와 같이 이들 잡음원들을 측정 시스템의 입력에 연결하여 출력 잡음 전력을 각각 N_{s1} , N_{s2} , N_x 으로 측정하고, 그 값들 사이의 비인 Y 인자는

$$Y_1 = \frac{N_{s1}}{N_{s2}} = \frac{M_1 T_{s1} + T_e}{M_2 T_{s2} + T_e} \quad (1)$$

$$Y_2 = \frac{N_{s1}}{N_x} = \frac{M_1 T_{s1} + T_e}{M_x T_x + T_e} \quad (2)$$

로 표현할 수 있다^[3]. 여기서 T_e 는 측정 시스템의 평균 실효 입력 잡음 온도 또는 등가 잡음 온도로서 가용(available) 전력에 해당되는 잡음 출력을 의미한다. M_1 , M_2 , M_x 는 잡음 온도 T_{s1} , T_{s2} , T_x 인 잡음원들이 각각 잡음 전력 측정 시스템의 입력에 연결되었을 때 잡음원들과 측정 시스템 입력 사이의 부정합인자이다. 예를 들어 잡음 온도 T_{s1} 인 잡음원이 잡음 측정 시스템 입력단에 연결되었을 때 부정합인자는

$$M_1 = \frac{(1 - |\Gamma_{s1}|^2)(1 - |\Gamma_r|^2)}{|1 - \Gamma_{s1} \Gamma_r|^2} \quad (3)$$

이다. 여기서 Γ_{s1} , Γ_r 은 각각 잡음원과 잡음 측정 시스템의 반사 계수이다. T_{s2} , T_x 인 잡음원과 잡음 측정 시스템 사이의 부정합인자도 식 (3)과 같이 쓸 수 있다. 식 (1), (2)로부터 T_e 는

$$T_e = \frac{M_1 T_{s1} - Y_1 M_2 T_{s2}}{Y_1 - 1} \quad (4)$$

로 쓸 수 있다. 즉, 잡음 온도를 알고 있는 2개의 기

준 잡음원을 잡음 측정 시스템에 연결하여 각각의 출력 잡음을 측정하면 측정 시스템 자체의 잡음 온도는 식 (4)에 의하여 구할 수 있다. 식 (4)를 식 (2)에 대입하면 피측정 잡음원의 잡음 온도 T_x 는

$$T_x = \frac{1}{M_x} \left[\frac{T_{s1} M_1}{Y_2} \left(1 - \frac{Y_2 - 1}{Y_1 - 1} \right) + T_{s2} M_2 \frac{Y_1}{Y_2} \frac{Y_2 - 1}{Y_1 - 1} \right] \quad (5)$$

로 구해진다^[5]. 여기서 잡음원들의 반사 계수가 충분히 작다고 가정하여 부정합인자 M_1 , M_2 , M_x 를 1이로 두면 식 (5)는

$$T_x = \frac{T_{s1}}{Y_2} \left(1 - \frac{Y_2 - 1}{Y_1 - 1} \right) + T_{s2} \frac{Y_1}{Y_2} \frac{Y_2 - 1}{Y_1 - 1} = T_{s2} + \frac{Y_1}{Y_2} \frac{T_{s1} - T_{s2}}{Y_1 - 1} \quad (6)$$

로 간단하게 표현된다. 식 (4)에서 잡음 측정 시스템의 잡음 온도는

$$T_e = \frac{T_{s1} - Y_1 T_{s2}}{Y_1 - 1} \quad (7)$$

로 주어진다^[1]. 부정합인자는 3-5절에서 다룬다.

등가 잡음 온도 T_e 와 잡음 지수 F 는

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (8)$$

의 관계를 가지며, $T_0 = 290$ K이다. F 를 데시벨로 표현하면

$$NF = 10 \log F \quad (9)$$

와 같다.

그림 1에서 기준 잡음원으로 사용되는 다이오드 잡음원의 잡음 온도는 일반적으로 과도 잡음비(excess noise ratio: ENR)로 표현된다^[4].

$$ENR = 10 \log_{10} \left(\frac{T_S^{ON} - T_S^{OFF}}{T_0} \right) \quad (10)$$

여기서 T_S^{ON} 은 On 상태 잡음원의 잡음 온도이다. T_S^{OFF} 는 Off 상태 잡음원의 잡음 온도이며, 제작자는 $T_S^{OFF} = 290$ K일 때의 ENR 값을 제공하고 있다.

Ⅲ. 잡음 측정 시스템의 성능 평가

잡음 측정 시스템으로 측정한 잡음 전력 사이의 비는 식 (1) 및 (2)의 Y인자로 주어진다. Y인자법에서는 측정 시스템의 입력 잡음 대 출력 잡음이 선형적이라고 가정한다. 그러므로 선형성은 잡음 측정 시스템의 중요한 평가 파라미터이다. 측정 시스템의 선형성은 일반적으로 믹서(mixer)부, 중간 주파수(IF)부, 그리고 RF부(또는 W-대역 전자파 입력부)로 나누어 평가한다^[6]. 3장의 실험은 수신기(Agilent Technologies N8975A)의 대역폭 4 MHz, averaging factor 32, 측정 횟수 5회의 조건에서 이루어졌다. 선형성 실험들의 반복도는(0.01~0.04) dB이다.

3-1 믹서의 선형성

믹서는 주파수 변환기의 주요 부품 중의 하나로서 W-대역 입력과 LO 출력을 혼합하여 원하는 낮은 주파수의 중간 주파수로 바꾸어준다. 믹서의 선형성은 LO 전력 레벨 변화에 따른 DUT의 잡음 온도 변화를 측정하여 평가할 수 있다. 확보된 주파수 변환기는 Farran Technology사의 FBC-10-FB이며, 주요특성은 다음과 같다.

- RF 입력 주파수: 75~110 GHz,
- 입력 반사 계수: $VSWR \leq 1.5:1$,
- IF 출력: 11.139 MHz,
- 입력단 격리도(isolation): 25 dB,
- 변환 이득: >10 dB,
- 잡음 지수: < 20 dB SSB max,
- LO 입력 주파수: 9.375~13.75 GHz,
- LO 전력: +5 dBm

주파수 변환기 내부 믹서의 선형성을 평가하기 위하여 그림 1의 잡음 측정 시스템을 구성하고, 식 (5)를 이용하여 잡음 온도를 측정하였다. 식 (5)의 부정합 인자는 후에 다루게 될 반사 계수의 측정값으로부터 구할 수 있다. 그림 2는 측정 시스템 사진이며, 다이오드 잡음원 앞단에는 아이솔레이터가 연결되어 있다. 이것은 잡음원이 수신기의 입력단에 연결될 때 잡음원의 임피던스에 의해 수신기의 특성이 변하는 것을 줄이기 위해 연결되었다. 다이오드 잡음원의 모델은 Noisecom NC5110, 명목 ENR은 15

그림 2. 잡음 측정 시스템의 실제 모습

Fig. 2. Pictorial view of the noise measurement system.

dB, 주파수 범위는 75~105 GHz이다. 다이오드 잡음원은 pulsed +28 V dc 전압에 의하여 on/off 되며, 이것은 hot/cold 상태에 해당된다. 다이오드 잡음원의 잡음 온도는 영국 국립물리실험실(National Physical Laboratory: NPL)에서 교정 받았으며, 주파수는 78.5, 80, 85, 90, 94, 100 GHz이다. 추가로 75, 95, 105 GHz에서는 제조사에서 제공한 잡음 온도 값을 T_{s1} 으로 두었다. 다이오드 잡음원 off 상태는 실험실 온도 22.8 °C(296.0 K)이며, 이것을 T_{s2} 로 두었다.

피측정기기(Device Under Test: DUT)는 앞서 사용한 NC5110 잡음원 출력단에 명목 감쇠량이 3 dB인 도파관 감쇠기를 연결하여 구성하였다. 먼저 주파수 변환기의 LO 전력을 +5 dBm으로 하여 DUT의 잡음 온도를 측정한다. 다음에는 LO 전력을 +2 dBm으로 하여 DUT의 잡음 온도를 측정한다. 두 경우의 잡음 온도 값의 차이를 dB로 그림 3에 보였다. 그림 3에서 측정 시스템의 믹서 선형성은 +0.08/-0.24 dB이다. 90 GHz에서 선형성이 좋지 않은 이유는 시스템을 구성하는 주파수 변환기의 잡음 지수가 이 주파수에서 매우 크기 때문이다.

그림 3. 잡음 측정 시스템의 믹서 선형성

Fig. 3. Mixer linearity of the noise measurement system.

3-2 IF 선형성

잡음 측정 시스템의 수신기는 Agilent Technologies사의 N8975A 잡음 지수 분석기이다(그림 2참조). 주파수 변환기의 IF 출력은 11.139 MHz이며, 이 IF 출력이 잡음 지수 분석기의 RF 입력단에 인가된다. 그러므로 IF 입력에 대한 측정 시스템의 출력 응답 선형성은 수신기에 입력되는 IF 전력을 변화시켜 측정할 수 있다. 여기서 수신기는 보정 모드('Corrected' mode) 또는 무보정 모드('Uncorrected' mode)에서 동작시킬 수 있다. 보정 모드는 ENR 값을 알고 있는 잡음원으로 수신기를 교정한 후, 수신기를 'Correction; On'으로 두고 측정하는 모드이다. 이 수신기를 이용하여 증폭기 등 잡음 지수를 측정하기 위해서는 보정 모드로 측정해야만 한다. 무보정 모드는 수신기를 'Correction: Off'로 두고 측정하는 모드이다. 만일 수신기를 교정하지 않고 사용한다면 수신기는 'Correction; On/Off'에 무관하게 무보정 모드에서 동작한다. 보정 모드에서 수신기 입력 전력의 변화 범위는 $-100 \sim -50$ dBm이고, 무보정 모드의 입력 전력 변화 범위는 $-82 \sim -38$ dBm이다. 여기서 무보정 모드의 입력 전력 변화 범위가 보정 모드의 것보다 높은 이유는 무보정 모드에서는 수신기의 자체 잡음 전력과 IF 입력 전력이 합해지기 때문이다. 보정 모드는 시스템 잡음을 보정한 상태로 측정하므로 매우 낮은 전력 레벨까지 읽을 수는 있지만, 낮은 입력 전력 범위에서는 상대적으로 선형성이 좋지 않다. 반면에 무보정 모드에서는 시스템 잡음과 IF 입력 전력이 합산되므로, 보정 모드에 비해 상

대적으로 높은 전력 범위 즉 선형성이 좋은 영역에서 동작한다.

먼저 보정 모드에서 수신기의 IF 선형성을 평가한다. 별도의 신호발생기에서 주파수 11.139 MHz의 연속파 신호를 수신기 RF 입력에 인가하여 전력 레벨을 -100 dBm $\sim$ -50 dBm으로 증가시키면서 수신기 지시값을 기록한다. 그런 다음 신호발생기와 수신기 사이에 명목값 3 dB의 감쇠기를 연결하여 앞에서 인가한 각각의 신호발생기 세팅 전력에 대하여 수신기 지시값을 기록한다. 각 전력 레벨에서 3 dB 감쇠기가 있을 때와 없을 때의 비율을 데시벨로 계산한다. 이 비율들의 평균인 비율평균을 구한다. 각 전력 레벨에서 구한 비율과 비율평균과의 차이를 계산하여 IF 선형성을 구한다. 같은 방법으로 무보정 모드에서도 IF 선형성을 측정할 수 있다. 그림 4는 보정 모드에서 측정한 IF 선형성 결과이다. 그림 4에서 전력 입력 레벨이 -87 dBm 이상일 때 0.05 dB 이내의 선형성을 보였다.

그림 5는 무보정 모드에서 측정한 IF 선형성 결과로서 전력 입력 레벨이 -42 dBm인 경우를 제외하면 ± 0.05 dB 이내의 선형 특성을 보였다. 무보정 모드에서 3 dB 감쇠기를 연결하지 않고 측정된 수신기 표시값(P_{hot} 표시 선택)은 3~47 dB이고, 보정 모드에서는 2~57 dB이다. 한편 ENR이 5~15 dB인 잡음원을 연결하였을 때 보정 모드에서는 4~17 dB 범위의 P_{hot} 값이 수신기에서 측정되는데, 그림 4에서와

그림 4. 보정 모드에서 잡음 측정 시스템의 IF 선형성 측정 결과

Fig. 4. Measured results of the IF linearity of the receiver, the noise figure analyzer operated in the corrected mode.

그림 5. 무보정 모드에서 잡음 측정 시스템의 IF 선형성 측정 결과

Fig. 5. Measured results of the IF linearity of the receiver, the noise figure analyzer operated in the uncorrected mode.

같이 비선형적으로 동작하므로 측정할 때 유의해야 한다.

3-3 RF 선형성

세 번째로 논의하는 잡음 측정 시스템의 선형성은 수신기 내부의 RF 증폭기(와 증폭기 뒷단의 전체 시스템)의 RF 입력 전력에 대한 선형성이다. 측정 시스템을 구성하고 있는 상용 기기에서 RF 증폭기를 해체 또는 분리하는 것은 가능하지 않으므로, 측정 시스템이 구성된 상태에서 선형성을 평가하였으며, 다음의 3단계에 따라 수행하였다.

단계 1: 잡음 온도 값을 알고 있는 W-대역 도파관 잡음원을 잡음 측정 시스템의 RF 입력단에 연결한다(그림 2참조). 측정주파수는 NPL의 교정주파수 78.5, 80, 85, 90, 94, 100 GHz와 제작자 데이터가 주어진 75, 95, 105 GHz의 총 9개 주파수이다. 이들 9개 주파수별 ENR 값을 식 (10)에 대입하여 얻은 잡음 온도가 식 (5)의 기준 잡음 온도 T_{s1} 이다. 식 (5)에서 기준 잡음 온도 T_{s2} 는 측정 당시의 실험실 온도인 22.8 °C(296.0 K)이다. Off 상태의 잡음원은 실험실 온도로 유지되는 정합된 부하(matched load)로 동작한다. 사용된 다이오드 잡음원(Noisecom, NC5110)의 동작 범위는 75~105 GHz이다. 단, 현재 1 대의 다이오드 잡음원을 보유하고 있어 이것을 기준 잡음원으로 사용하는 동시에, DUT로도 사용한다. 즉, DUT의 잡음 온도 측정값 T_{x1} 은 T_{s1} 과 같은 값이며, 실험결과에 의하면 0.02 dB 이내에서 일치하였다.

그림 6. 3 dB 감쇠기가 연결된 W-대역 도파관 잡음원의 모습

Fig. 6. Pictorial view of a W-band waveguide noise source with a 3-dB attenuator.

단계 2: 다음으로 단계 1에서 사용한 기지의 W-대역 도파관 잡음원에 3 dB 감쇠기를 결합한 새로운 잡음원(그림 6 참조)을 DUT로 하여 이것의 잡음 온도 $T_{x2+3dB \text{ at } t}$ 를 식 (5)에 의하여 구한다. 이 때 기준 잡음 온도 T_{s1} , T_{s2} 는 단계 1에서와 같다.

단계 3: 단계 2에서 사용한 3 dB 감쇠기의 감쇠량(S_{21} 또는 A_{3dB})을 벡터 회로망 분석기로 측정하고, 그 감쇠량을 단계 2의 $T_{x2+3dB \text{ at } t}$ 에 보정하여 T_{x2} 를 구한다. T_{x2} 의 계산식은 다음과 같다.

$$T_{x2} = \frac{1}{\alpha_3} [T_{x2+3dB \text{ att}} - T_{s2}(1 - \alpha_3)] \quad (11)$$

여기서 $\alpha_3 = 10^{-A_{3dB}/10}$ 이다.

잡음 온도는 잡음 전력에 상응되는 양이므로 RF 선형성은 잡음 온도 차의 데시벨 값, $10 \cdot \log \{(T_{x2} - T_{x1}) / T_{x1}\}$ 으로 표현할 수 있다. 그림 7은 보정 모드에서 잡음 측정 시스템의 RF 선형성을 (a) 잡음 온도와 (b) 데시벨로 보인 결과이다. 따라서 보정 모드 측정 시스템의 RF 선형성은 0.20 dB 이내이다. 한편, 무보정 모드의 경우에도 이와 유사한 RF 선형성을 보였다.

3-4 잡음 지수

잡음 측정 시스템의 동작 모드를 무보정 모드로 놓고, 잡음원을 RF 입력단에 연결한다. 28 V dc 전압을 on, off하여 잡음원을 on, off 상태로 만든다. On, off 상태의 잡음원에서 발생하는 잡음 전력을 수신기로 측정한다. 식 (5)에 의하여 잡음 측정 시스템의 잡음 온도 T_e 를 계산한다. 여기서 기준 잡음 온도 T_{s1} , T_{s1} 는 3-3절의 RF 선형성 평가에 사용한 값이다. 시스템의 잡음 온도를 잡음 지수로 변환하여 그

그림 7. 보정 모드 잡음 측정 시스템의 RF 선형성 측정 결과

Fig. 7. Measured results of the RF linearity of the receiver, i.e., the noise figure analyzer operated in the corrected mode.

그림 8. 잡음 측정 시스템의 잡음 지수

Fig. 8. Noise figure of the noise measurement system.

림 8에 보였다. 이 때 식 (5)의 부정합인자는 다음 절에서 보일 반사 계수들로부터 구하였다. 그림 8에서 시스템 잡음지수는 W-대역에서 7~17 dB이다. 단, 90 GHz에서는 시스템의 잡음 지수가 17 dB로 높은데, 이는 시스템을 구성하고 있는 주파수 변환기 FBC-10-FB의 잡음 지수가 높기 때문이다.

그림 9. 잡음 측정 시스템과 잡음원의 반사특성

Fig. 9. Reflection characteristics of the noise measurement system and the noise source in on and off states.

3-5 반사 계수와 부정합인자

부정합인자 식 (3)에서 두 기준 잡음 온도 T_{s1} 과 T_{s2} 에 해당되는 잡음 전력을 발생시키는 잡음원의 입력반사 계수 Γ_{s1} , Γ_{s2} 는 각각 on 및 off 상태의 도파관 잡음원에 대한 측정량이다. 그리고 Γ_r 은 잡음 측정 시스템의 반사 계수이다. 그림 9는 on, off 상태의 잡음원과 잡음 측정 시스템의 반사 계수 측정값이다. 그림 9에서 dc 28 V on, off일 때 잡음원의 반사 계수가 W-대역 전 주파수에서 거의 변화가 없다는 점에 주목할 필요가 있다. 이것은 그림 6에서 보는 바와 같이 잡음원의 출력단에 아이솔레이터가 연결되어 있기 때문이다. 이러한 특성의 잡음원을 사용하여 다른 기기의 잡음 지수를 측정하면 측정의 정확도를 높일 수 있다⁴⁾. 그림 9(a)의 반사 계수 측정값을 식 (3)에 넣어 부정합인자를 구하면 그림 9

(b)와 같이 0.946~1.000 범위의 값을 가진다.

IV. 결 론

W-대역 도파관 잡음원 교정을 위한 잡음 측정 시스템을 구성하고, 그 특성을 평가하였다. 잡음원 교정에 일반적으로 사용되는 Y인자법은 측정 시스템이 입력 잡음 전력에 선형적으로 동작한다는 가정을 전제한다. 따라서 잡음 측정 시스템의 선형성은 시스템 성능을 나타내는 파라미터들 중의 하나이다. 이를 평가하기 위해 사용한 기준 잡음 온도는 국외에서 교정한 데이터와 실험실 온도의 측정값을 사용하였다.

잡음 측정 시스템의 선형성은 믹서부, IF부, RF부로 나누어 평가하였으며, 그 결과는 각각 0.24 dB, 0.05 dB, 0.20 dB이다. 잡음 측정 시스템의 잡음 지수는 7~17 dB이다. 이 시스템은 대외교정 서비스를 통한 잡음표준의 산학연 보급과 각종 전기전자 소자, 기기, 그리고 시스템의 잡음 특성 평가에 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 582-594, 1993.
- [2] R. H. Dicke, "The measurement of thermal radiation at microwave frequencies", *Rev. Sci. Instr.*, vol. 17, no. 7, pp. 268-275, Jul. 1946.
- [3] M. G. Arther, W. J. Anson, *The Measurement of Noise Performance Factors: A Metrology Guide*, National Bureau of Standards, Mar. 1974.
- [4] Application note 57-2, *Noise Figure Measurement Accuracy-The Y-factor Method*, Agilent Technologies, 2010.
- [5] 박병권 외 7인, KSRI-89-18-IR, 전자파 잡음 온도 표준, 한국표준연구소, 1989.
- [6] C. A. Grosvenor, J. Randa, and R. L. Bilinger, "Design and testing of NFRad-A new noise measurement system", *NIST Technical Note 1518*, Mar. 2000.

강 태 원

1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
 2002년 3월~2003년 3월: George

Green Institute for Electromagnetics Research, University of Nottingham, Nottingham, U.K., Visiting Researcher
 1990년 2월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 책임연구원
 [주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 전력), EMC 측정표준

김 정 환

1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1980년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1981년 10월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 책임연구원

[주 관심분야] 전자파측정표준(RF 전압, 전력, 안테나, 물질상수 등)

권재용

1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2002년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2002년 2월~2005년 3월: LG전자기

술원 소재재료연구소 선임연구원

2005년 4월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 책임연구원

[주 관심분야] 전자파 측정표준(전자파 전력, EMC 안테나 등)

강진섭

1987년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1994년 3월~1995년 3월: 한국과학

기술원 전기 및 전자공학과 위촉연구원

1995년 3월~1996년 2월: Dept. of Electrical and Computer Eng., University of Illinois at Urbana-Champaign, Post-doctoral Research Associate

1996년 3월~1998년 2월: 충북대학교 전기전자공학부 초빙조교수

1998년 3월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 책임연구원

[주 관심분야] 전자파 산란 및 역산란, 수치해석, 안테나해석, 전자파 측정 등