

우주전파 수신기를 위한 IF 분배기 및 V/F 컨버터 설계 DESIGN OF THE IF DISTRIBUTOR AND V/F CONVERTER FOR RECEIVER SYSTEM

김광동, 임인성, 변도영, 송민규
한국천문연구원

KWANG DONG KIM, IN SUNG YIM, DO-YOUNG BYUN, AND MIN GYU SONG
Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: yim@kasi.re.kr

(Received November 7, 2007; Accepted November 15, 2007)

ABSTRACT

We designed the Intermediate Frequency(IF) distributor for multi beam backend system and manufactured Voltage to Frequency Converter(VFC) to measure the multi-beam receiver performance. Multi beam receiver has 15 channel receivers and can get 15 spectrums at once. The multi beam receiver has more observation efficiency than single beam receiver. We manufactured the 15 IF distributors to distribute IF signal for Autocorrelation spectrometer that is radio signal processor. Also, we manufactured the VF Converter to test the performance measurement of receiver for Korea VLBI Network(KVN) system which is under-construct in Seoul, Ulsan and Jeju. As a result of performance measurement, we could obtain linearity of 99.4% on the input power vs output frequency and measured the operating range of input frequency.

key words: IF distributor, Voltage to Frequency Converter, Receiver

1. 서론

다중 빔 수신기를 위한 IF(중간주파수) 분배기와 수신기 성능을 측정할 수 있는 V/F 컨버터를 설계, 제작하였다. 다중 빔 수신기는 우주전파수신기, 캘리브레이션 초퍼(CAL Chopper), 빔 초퍼(Beam Chopper), V/F 컨버터로 구성 되어있다(이창훈 외, 1992). 본 논문에서는 수신기에서 측정된 신호를 15개 수신기 백엔드인 자기상관기 입력으로 사용할 수 있는 IF 분배기를 제작하였다. IF 분배기는 자기상관기에 중간주파수 신호 공급을 위한 장치로 중간 증폭부이다. 수신기의 출력인 IF 신호는 수신기에 입력되는 RF와 LO 주파수가 믹서에서 혼합하여 생성되는 down conversion된 신호로, 주파수는 1.4GHz, 대역폭은 400MHz이다. 이 신호는 1차 IF 분배기에서 중간주파수 660MHz, 대역폭 400MHz로 down conversion 된다. 이 신호는 스펙트럼 분석을 위해 수신기 백엔드 신호처리 장치인 자기상관기의 입력신호가 된다. 즉, IF 분배기는 자기상관기에 중간주파수를 공급하는 신호분배기이다(Yim et al., 1992). 제작된 신호분배기는 이 신호를 15개 자기상관기의 입력으로 사용하기 위해 중간주파수 660MHz, 대

역폭 350MHz, 동작범위가 0~-20dBm으로 신호의 크기에 따라 감쇄기를 사용하여 조정할 수 있도록 하였다. 신호분배기의 성능을 측정한 결과, 적정 동작범위 내에서 양호하게 동작하였다. 또한, 현재 서울, 울산, 제주에 건설중인 KVN(Korea VLBI Network) 수신기 성능을 측정할 수 있는 V/F 컨버터를 설계 제작하였다. V/F 컨버터는 수신기의 입력 신호의 전력에 대한 주파수를 출력하는 장치로, 입력 전력에 대한 주파수 출력의 선형성과 수신기의 적정 동작 범위를 출력하는 것이 중요하다. 제작된 V/F 컨버터와 Agilent사의 Square Law Detector 8473D를 연결하여 KVN 안테나 성능 시험을 위한 100GHz 수신기의 Total Power 장치를 구성하였다. 실험실 측정 결과 Total Power 측정 장치는 입력신호 영역이 -21dBm ~ -15dBm 일 때, 99.4%의 선형성을 측정할 수 있었다.

2. IF 분배기의 제작

다중빔 수신기를 위한 IF 분배기를 설계, 제작하였다. 전파수신기는 슈퍼 헤테로다인 방식을 택하고 있다. 수신기 믹서는 전파신호와 국부발전부 신호를 혼합하여

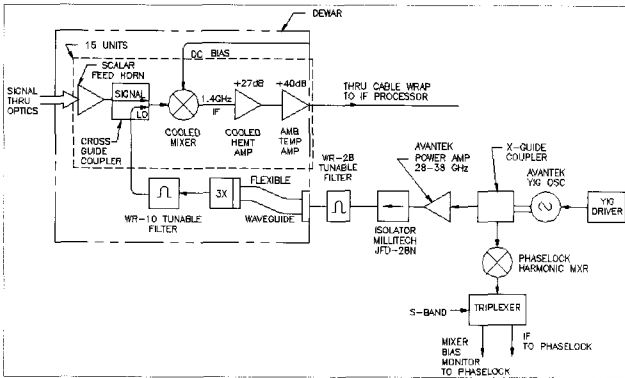


그림 1. 다중빔 수신기의 RF 흐름도

중간주파수의 신호를 생성시키게 된다. 이 중간주파수 신호는 전파신호 처리와 분석을 위해 수신기의 중간 증폭부에서 증폭되어 상관기와 같은 신호처리장치에 공급된다. 즉, 여러 가지 전파신호 처리장치에 중간주파수 신호를 공급하기 위한 목적으로 사용되는 장치가 중간주파수 신호분배기이다. 이 중간주파수 분배기는 자기상관기, 필터뱅크 분광기, 연속주파수신기 등의 백엔드인 신호처리장치에 중간 주파수 신호를 원활하게 공급하는 중간주파수 신호분배 장치이다. 다중빔 수신기의 RF 신호 흐름도는 그림 1과 같다.

그림 1 에서와 같이 다중빔 수신기는 86 ~ 116GHz 대역의 우주전파 관측을 위한 수신기로, 15K Dewar 내부에 빔을 유도하는 광학부분, GaAs Schottky 믹서와 HEMT 냉각 증폭기, 피이드 혼, Cross guide coupler, 냉각 3체배기, 상온 IF 증폭기, 및 SSB 필터 등으로 구성되며, Dewar 외부에는 YIG 발진기를 사용하는 국부 발진 시스템 등으로 구성되어 있다. YIG 발진기에서 발생된 주파수 28 ~ 38GHz는 증폭기에서 증폭되고, 3체배되어 믹서로 공급된다. 다중빔 수신기에 입력된 신호는 85 ~ 115GHz 대역으로, 믹서에서 3체배된 LO 주파수와 혼합되어 주파수 1.4GHz, 대역폭 400MHz인 중간주파수가 생성된다(FCRAO, 1992, 1996). 이 주파수는 IF 분배기를 통해 수신기 백엔드인 자기상관기 입력으로 사용된다. 이 신호는 수신기 백엔드인 15개 자기상관기의 입력으로 분배하기 위해 증폭기를 사용하여 신호를 분배하게 된다. 전파망원경 수신기의 증폭부와 상관기까지의 길이가 약 20미터 정도임으로 전송손실을 보상하기 위해 초단에 30dB 증폭기를 사용하여 증폭시키고, 증폭된 신호의 크기를 조절하기 위해 10dB와 1dB 스텝 감쇄기를 설치하여 적정 레벨을 공급하도록 하였다. 이 신호는 여러 가지 소자들 과 분배기에 의해 신호 전력이 감소함으로 다시 30dB 증폭기를 두어 분배기의 출력이 충분하도록 하였다. 수신기 중간 신호 증폭부에서 증폭된 신호의 중간주파수는

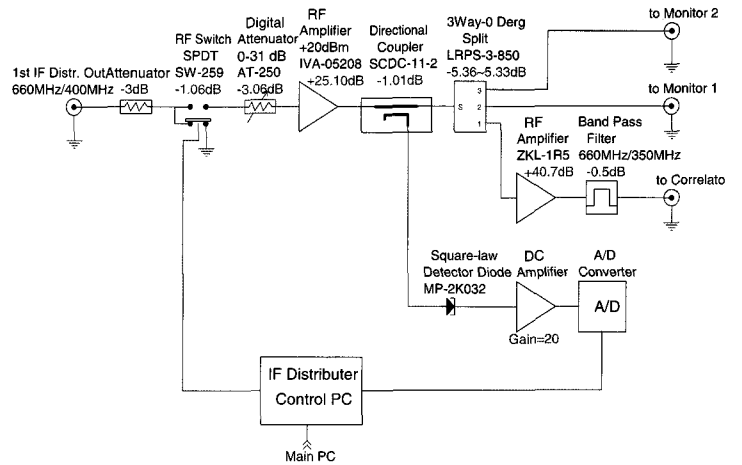


그림 2. IF 분배기 블럭다이아그램

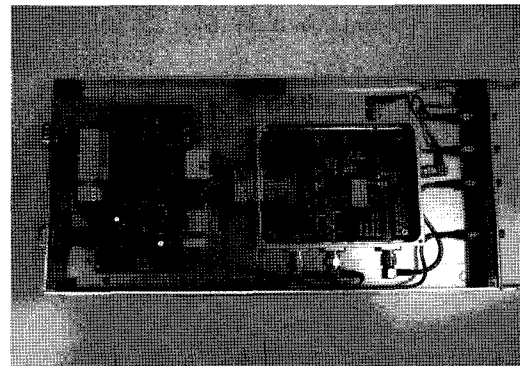


그림 3. 제작된 IF 분배기

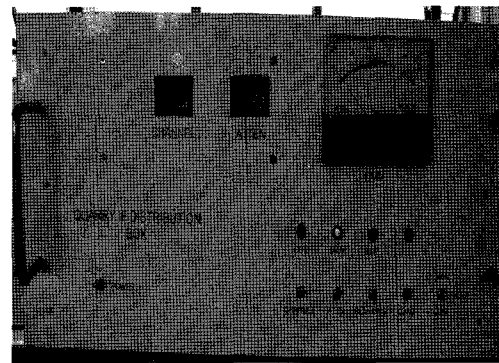


그림 4. IF 분배기 전면부

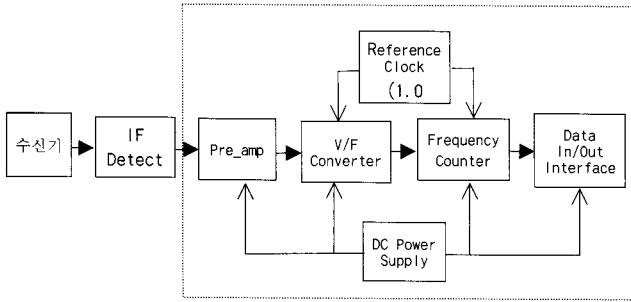


그림 5. 수신기 성능측정용 V/F 컨버터 블럭다이어그램

660MHz, 대역폭은 350MHz이다. IF 분배기 블럭다이어그램은 그림 2와 같다.

IF 분배기 증폭회로는 IF 출력을 증폭할 때 원치 않는 잡음을 제거하기 위해 저역통과 필터회로를 설계하여 증폭기를 제작하였다. IF 분배기를 컴퓨터와 연결하기 위해 인터페이스 회로도 제작하였다. 제작된 IF 분배기는 그림 3과 같다. 또한 각 상관기 입력으로 사용되는 채널별 중간주파수 크기를 조정하기 위해 그림 4와 같이 DVM을 설치하였다.

3. V/F 컨버터 설계 및 제작

다중빔 수신기 성능 측정을 위한 V/F 컨버터의 블럭다이어그램은 그림 5와 같다(김광동 외, 2006).

수신기로부터 출력되는 IF 신호는 IF Detector를 거치면 AC 신호에서 DC 신호로 변환된다. 변환된 신호는 수신기 성능측정용 V/F 컨버터의 예비증폭기(pre-Amplifier)로 입력되고, 예비증폭기에서는 신호를 5배 증폭되도록 설계하였다. 증폭된 신호는 V/F Converter 회로를 통해 DC 전압이 주파수로 변환되면 주파수 Counter에서 주파수를 카운트한다. V/F 카운트 회로에 입력된 신호는 1MHz 클럭에 의해 +0.000 ~ +1.000 VDC의 전압을 0.000 ~ 50.000 kHz가 출력되도록 설계하였다. 전압/주파수 변환기와 주파수 카운터에 쓰는 1MHz 클럭은 V/F 컨버터 모듈 자체에서 공급한 것과 외부 Reference Clock에서 공급한 것을 선택하여 사용할 수 있도록 구성하였다. 또한 1MHz 클럭 자체를 외부로 출력하여 다른 V/F 컨버터 모듈이나 모니터로 활용할 수 있도록 하였다. 주파수 카운트된 디지털 신호는 Data In/Out Interface를 통해 수신기 제어용 컴퓨터로 입력하도록 설계하였다. IF Detector는 주파수 범위가 10MHz ~ 33GHz인 Agilent Technologies사의 8473B Detector를 사용하였고, pre Amp 회로, V/F 카운트 회로, 주파수 카운트 회로, 데이터 인터페이스 회로를 설계 제작하였다. V/F Converter회로부터 출력된 주파수는 32 비트 바이너리 업 카운터 IC LS7060을 이용하여 수신기로부터 출력되는 IF의 Main

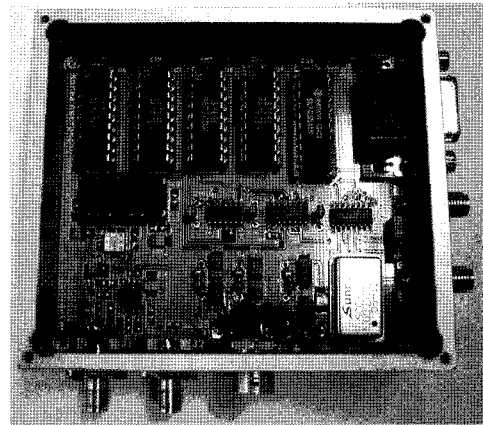


그림 6. V/F 컨버터 모듈의 내부

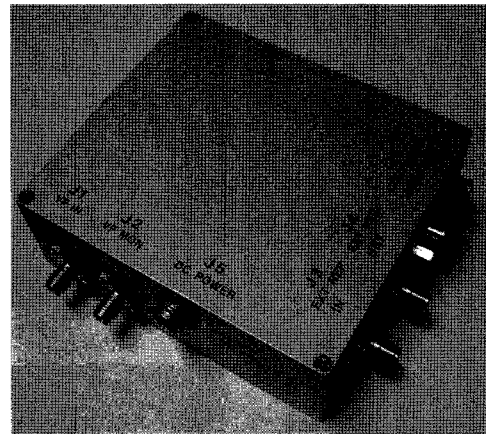


그림 7. 완성된 V/F 컨버터 모듈

data 또는 Reference data와 1MHz 클럭을 동시에 카운트 할 수 있도록 하였다. 전체 회로도에 따라 V/F 컨버터의 PCB 기판을 설계, 제작 하였다. PCB 기판에 부품을 삽입하여 VF 컨버터 모듈을 완성하여 DC 전압을 인가하고, 전압/주파수 변환된 출력을 주파수 카운터로 측정하였다.

4. V/F 컨버터 모듈의 성능측정

가. V/F 컨버터의 DC 반응 특성

제작된 VF 컨버터 모듈의 내부와 완성된 모듈은 그림 6과 그림 7과 같다. 표1은 입력전압을 0 volt 에서 1 volt 까지 0.05 volt 간격으로 입력했을 때, 출력된 주파수를 측정된 값이다. 이는 전압의 변화에 따른 변환된 주파수를 카운트하여 출력단자로 받은 주파수 카운터의 결과이다.

표1. 설계 제작 된 V/F 컨버터의 성능측정 데이터

VF Input (Volt)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
VF Output (kHz)	2.427	4.854	7.246	9.638	12.282
VF Input (Volt)	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
VF Output (kHz)	14.925	17.438	19.952	22.616	25.280
VF Input (Volt)	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
VF Output (kHz)	27.658	30.036	32.624	35.211	37.396
VF Input (Volt)	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
VF Output (kHz)	39.581	42.187	44.792	47.087	49.383

표2. 수신기 성능 측정 주요사항

RF Frequency	98 GHz
IF Frequency	1.4 GHz
Bandwidth	600MHz
Square Law Detector	Agilent 8473D
Attenuation range	13.0 - 32.0dB with 0.5dB step
Powermeter (Power Sensor)	Agilent E4410A (E9327A)
Reference Clock Source	Internal 1MHz Crystall Oscillator
Integration Time	5 sec

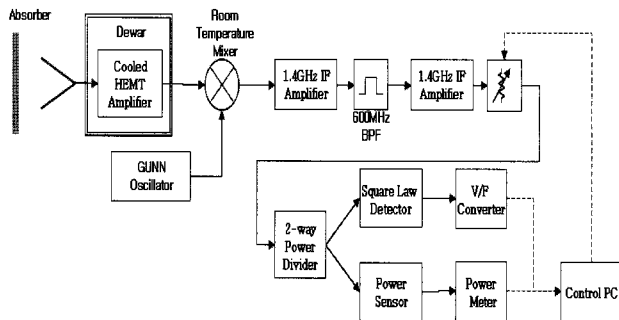


그림 8. 100GHz 수신기와 Total Power 측정 장치 성능 측정 구성도

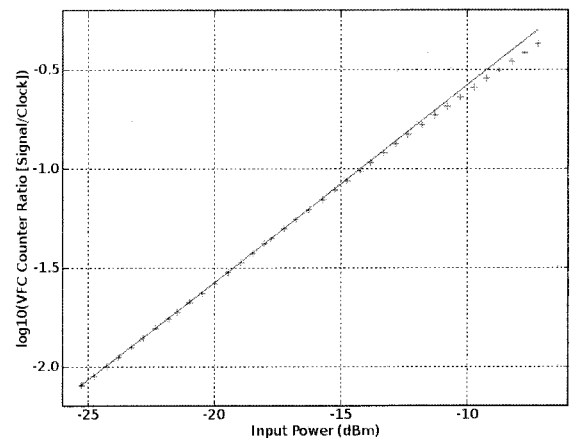


그림 9. Total Power 측정 장치의 선형 반응 특성

나. V/F 컨버터 모듈을 이용한 수신기 측정 활용 결과 - 선형성 및 동작 범위 측정

제작된 VF 컨버터는 KVN 21m 망원경의 안테나 성능 측정을 위한 시험 관측용 100GHz HEMT 수신기의 Total Power 측정 장치로 사용할 계획이다. 시험 관측 전에 실험실에서 100GHz 수신기와 V/F 컨버터 등을 이용한 관측 시스템의 성능 측정을 하였다. 그림 8은 100GHz 수신기와 Total Power 측정 장치 성능 측정 구성도이다. 수신기 성능 측정 주요사항은 표 2와 같다.

Square Law Detector와 V/F 컨버터로 구성된 Total Power 측정부의 선형성을 구하기 위해 IF 단에 있는 스텝 감쇄기를 0.5dB 단위로 변화시키면서 V/F 컨버터의 값을 측정하였다. Attenuation 값의 범위는 13.0-32.0dB로 19dB 정도를 변화시켰다. Attenuation 값의 변화에 따른 Total Power 측정 장치의 입력 신호의 변화량을 정확하게 측정하기 위해 Agilent사의 Powermeter E4417A와 Power Sensor E9327A를 이

용 하였다. Power Sensor E9327A의 경우 제조사의 사양에 의하면 50dB정도의 측정 범위에서 약 ±1%의 선형 오차를 가지고 있다(Agilent Technologies, 2007). 그림 9는 Powermeter의 측정값으로부터 추정되는 Square-Law Detector의 입력 신호의 세기와 V/F 컨버터의 출력값 (신호펄스 계수기와 기준 클럭 계수기의 비) 사이의 관계를 보여준다. 측정값은 '+' 로 표시하였으며 선형성 비교를 쉽게 하기 위하여 입력 신호의 세기가 -15dBm 보다 작은 영역을 직선으로 fitting하였을 때의 결과를 검은색 실선으로 표시하였다. 직선의 기울기는 Total Power 측정 장치의 이득에 해당되는데 Total Power 측정 장치는 0.0026/uW의 이득을 가지고 있음을 알 수 있었다.

그림 10은 측정값이 선형 관계에서 벗어나는 정도를 나타내는 그림으로 (측정값 - 선형값)/(선형값)을 그린 결과이다. 입력 신호의 세기가 -15dBm 보다 작은 영역에서는 직선에 대한 편차가 작지만 -15dBm 이상에서는 편차가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

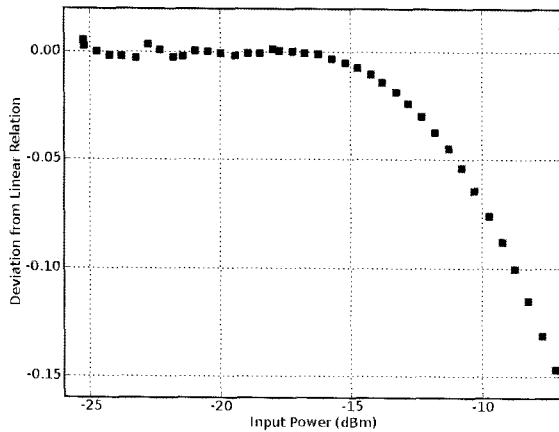


그림 10. Total Power 측정 장치의 선형 오차

-15dBm 이하에서 선형 오차는 0.6% 이하인데, 이 비선형 특성은 V/F 컨버터 앞에 사용한 Square Law Detector의 사양과 일치하는 값으로 이 비선형성은 주로 Square Law Detector의 비선형성 특성에 의한 것으로 판단된다. 참고로 V/F 컨버터 Chip AD652의 경우 선형오차는 0.05%보다 작다. 위 측정의 측정 오차를 살펴보면 가장 큰 측정 오차를 주는 것은 입력 신호의 세기를 측정하기 위한 Power Sensor의 측정 오차인데 실험에 사용된 Power Sensor E9327A는 온도 변화 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 에 대해 $\pm 0.8\%$ 의 측정 오차를 가지며 50dB 동작 범위에 대해 약 $\pm 1\%$ 의 선형 오차를 주는 것으로 알려져 있다(Agilent Technologies, 2007). 위 실험의 측정 시간은 3분 이하로 이 시간 동안 Power Sensor의 온도의 변화에 의한 측정 오차는 무시할 수 있다. 한편, 그림 10의 0.6%의 선형 오차 동작 범위에 해당하는 10dB 동작 범위에서, 예상되는 Power Sensor의 선형 오차는 약 $\pm 0.2\%$ 를 위 실험의 측정 오차로 볼 수 있다. 따라서 위 실험 결과로부터 V/F 컨버터 모듈을 이용한 Total Power 측정 장치는 선형 오차가 $0.6(\pm 0.2)\%$ 이하인 선형 동작 영역(dynamic range)이 10dB 이상이라고 결론지을 수 있다. 이 값은 KVN에서 이용하는 22, 43, 86, 129GHz 대역의 전파 수신기의 Total Power 측정용으로 사용하는 데 충분한 값으로 판단된다.

선형 오차가 $0.6(\pm 0.2)\%$ 이하로 유지되는 최대 입력 신호 값인 -15dBm 에서 V/F 컨버터의 출력 값을 0.4로 Total Power 측정 장치의 이득을 설정하면 선형 동작 영역을 최대로 이용할 수 있다. 그림 10에서 입력 전력이 -15dBm의 경우 표준화된 V/F 컨버터 출력값은 0.1 정도로 Total Power 측정 장치의 이득을 약 4배 증가시키는 것이 바람직하다. Total Power 측정 장

치의 이득은 Square Law-Detector의 이득 특성과 Op-Amp의 이득, V/F 컨버터의 반응 특성에 의해 결정되는데, Op-Amp의 이득을 결정하는 저항 값을 바꿈으로써 간단히 이득을 조절할 수 있다.

5. 결론

수신기를 위한 IF 분배기와 수신기 성능을 측정할 수 있는 V/F 컨버터를 설계 제작하였다. 제작된 IF 분배기는 수신기에서 측정된 신호를 15개 수신기 백엔드인 자기상관기 입력으로 사용할 수 있는 장치로 중간주파수 신호 공급을 위한 중간 증폭부이다. 제작된 신호분배기는 동작범위가 0 ~ -20dBm으로 신호의 크기에 따라 감쇄기를 사용하여 조절할 수 있도록 하였다. 신호분배기의 성능을 측정한 결과, 적정 동작범위 내에서 양호하게 동작하였다. 또한, 수신기 성능을 측정할 수 있는 V/F 컨버터를 설계 제작하였다. V/F 컨버터는 수신기의 입력 신호의 전력에 대한 주파수를 출력하는 장치로, 입력 전력에 대한 주파수 출력의 선형성과 수신기의 적정 동작 범위를 출력하는 것이 중요하다. 제작된 V/F 컨버터는 수신기 성능을 측정하기 위한 것으로, Square Law Detector Agilent 8473D와 개발한 V/F 컨버터 모듈을 이용하여 Total Power 측정 장치를 구성하여 선형성을 측정한 결과, -15dBm 보다 작은 입력 신호에 대해 $0.6(\pm 0.2)\%$ 보다 좋은 선형 오차를 얻었다. 또한, 10dB 이상의 선형 동작 범위를 확인하였다. 이 값은 KVN의 22, 43, 86, 129GHz 수신기의 Total Power 측정에 충분한 동작 범위이다.

참고 문헌

- 김광동, 장정균, 장비호, 2006, 한국천문연구원 기관고유 사업보고서, 27
- 이창훈, 한석태, 임인성, 서정빈, 1992, 천문대 연구보고서, 91-5200-401, 5
- Agilent Technologies, 2007, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5980-1469E.pdf>
- FCRAO, 1992-1996, QUARRY Maintenance Note, 6
- FCRAO, 1996, QUARRY Service Manual, 4
- Yim, I.S., Cho, S.H., Han, S.T., Lee, C.H., and Seo, J.B., 1992, KITE Journal of Electronics Engineering, 3(2), 46