

S-대역 트랜스폰더용 주파수 체배기 설계 및 제작

Design and Fabrication of the Frequency Multiplier for S-band Transponder

김병수*, 고봉진**

Byung-Soo Kim* and Bong-Jin Ko**

요 약

본 논문에서는 KOMPSAT 3호의 S-대역 트랜스폰더용 주파수 체배기를 설계 및 제작하였다. 수신부 첫째 단의 국부 발진 신호(2008.8MHz)를 생성하는 108배 주파수 체배기의 구성은 X9 주파수 체배기, 1st X2 주파수 체배기, 2nd X2 주파수 체배기, 최종단의 X3 주파수 체배기로 구성된다. 측정 결과, 최종단의 X3 주파수 체배기의 출력주파수인 2008.8MHz에서의 8.17dBm의 출력전력과 -56.67dBc의 고조파 억압 특성을 보였다. 또한 -3dB 이상의 변환이득을 갖는 대역폭은 14MHz로 나타났다.

Abstract

In this paper, frequency multipliers used S-band transponder of the KOMPSAT 3 are designed and fabricated. In the transponder, 108 times multiplier which generate 1st LO signal(2008.8MHz) is comprised of the X9 frequency multiplier, 1st X2 multiplier, 2nd X2 multiplier and the last stage of the X3 frequency multiplier. As results, output power of 8.17 dBm at 2008.8MHz, the harmonic suppression of -56.67dBc, the bandwidth of 14MHz were measured.

key words : frequency multiplier, transponder, KOMPSAT

I. 서 론

오늘날의 슈퍼헤테로다인 방식을 이용하는 모든 통신 장비는 중간 주파수로 변환하기 위한 국부발진기(Local Oscillator)가 존재하며 이 때 사용되는 국부 발진회로는 높은 안정도와 저위상 잡음의 신호원을 필요로 한다[1]. 위상잡음은 주파수가 높아질수록 증가하는 경향이 있으므로 높은 주파수 신호를 직접 이용하기보다 낮은 주파수 신호를 체배(multiply)하여 사용하는 체배기(multiplier)가 많이 이용된다[2]. 현대

다목적실용위성 S-대역 트랜스폰더에는 수신부와 송신부에 걸쳐 다양한 종류의 체배기가 사용되고 있다 [3]-[5]. 따라서 체배회로에 대한 전반적인 연구가 선행된다면 RF회로에 대한 이해를 높이는 것과 동시에 트랜스폰더의 성능 향상을 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 S-대역 트랜스폰더용 수신부의 주파수 체배기를 설계 제작하였다. 수신부에서 1st LO 신호(2008.8 MHz)를 생성하는 108배 주파수 체배기의 구성은 X9 주파수 체배기, 1st X2 주파수 체배기, 2nd X2 주파수 체배기, X3 주파수 체배기로 구성된

* 한국항공우주산업(Korea Aerospace Industries, Ltd.)

** 창원대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Eng., Changwon National University)

· 제1저자 (First Author) : 김병수

· 접수일자 : 2006년 9월 20일

다. 주파수 체배기의 입력단에 18.6 MHz의 0 dBm의 입력신호에 대하여 체배 주파수, 제2고조파 출력 특성 등의 성능을 분석한다.

II. S-대역 트랜스폰더

2-1 개요

일반적으로, 위성의 중계기는 1개 이상의 트랜스폰더로 구성된다. 트랜스폰더는 송수신장치로서 지구국으로부터 송신된 상향링크 신호를 수신하여 저잡음증폭기에서 증폭한 다음에 하향링크 주파수로 변환시켜 고주파증폭기에서 고전력 증폭한 다음, 송신 안테나를 통하여 지구국에 송신하는 것을 말한다 [6].

KOMPSAT 트랜스폰더의 디자인은 송수신 주파수의 비를 정하는 방법에 기초를 두었는데 그 방법은 Spacecraft Tracking and Data Network(STDN)이며 STDN 지상국들과는 통신이 가능하다. 기본 출력은 3 watt 이며 송수신 주파수의 비는 240/221이다. On-Board Computer(OBC)와 RF Assembly 사이에서 지상에서 캐리어에 실려 올라온 명령을 복조하여 OBC에 전달하고 OBC에서 지상으로 내려오는 데이터를 캐리어에 변조하는 역할을 한다. 지상국에서 보내는 명령은 16kHz의 subcarrier에 실려 오는 4kbps의 NRZ-M 형태이고, 위성에서 보내는 데이터는 캐리어에 2Mbps를 직접 변조하는 playback 모드와 1.024MHz의 subcarrier에 4kbps 데이터를 실어 보내는 realtime 모드가 있으며, 데이터 형태는 NRZ-L이다. 그리고 위성국과 지상국과의 거리를 측정하는데 사용하는 ranging 신호를 재전송하는 기능도 있다. 그리고 지상에서 보내는 캐리어의 주파수를 변환하여 보내는 coherent 기능과 트랜스폰더의 내부에 있는 auxiliary 오실레이터를 이용하여 캐리어를 발생시키는 non-coherent 기능도 있다. Coherent 기능에서 수신기에서 업링크 캐리어를 tracking 하는 방법은 phase lock tracking loop를 사용하였고, 복조에서 안정된 주파수를 얻기 위하여 PLL 회로를 사용하였다. S-대역 트랜스폰더 구성도는 그림 1과 같다[7].

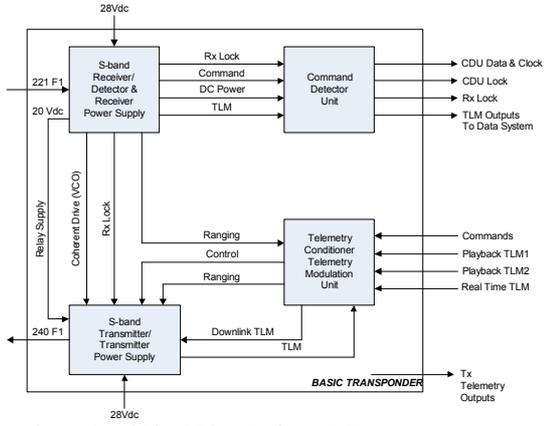


그림 1. S-대역 트랜스폰더 블록도
Fig. 1. Block diagram of S-band transponder.

2-2 수신부

수신부는 S-대역 상향링크 신호를 받아서 command demodulator에서 처리할 수 있도록 복조된 video telecommand signal을 출력한다. CDU (Command Demodulator Unit)는 외부 시스템에 보낼 comand data와 clock을 출력하기 위하여 16kHz subcarrier tone data를 검출한다. 수신부는 수신신호를 detector와 acquisition 회로에서 baseband processing을 위하여 2차 IF 주파수로 변환시키는 dual-conversion, superheterodyne 설계 방식을 취한다. RF 신호는 flexible-coax나 semi-rigid coax로 연결되어 있다. 각 모듈에 공급되는 DC power는 별도의 EMI 및 RFI filter로 격리되어 있다. 수신부는 크게 RF/IF chain, local oscillator chain 및 DC-DC converter의 3부분으로 구성되어 있다. 수신부 구성도는 그림 2와 같다[7].

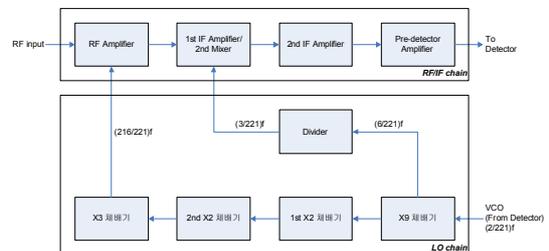


그림 2. 수신부 블록도
Fig. 2. Block diagram of receiver.

III. 주파수 체배기 설계

수신부 LO chain의 주파수 체배기는 X9, 1st X2, 2nd X2, X3 체배기로 구성된다. Detector VCO단의 18.6MHz의 입력신호를 받아서 1차 LO signal은 108 체배에 의하여 2008.8MHz를 공급하고 2차 LO signal은 X9 주파수 체배기의 첫 번째 X3 체배기와 divider를 거쳐 27.9MHz를 공급한다.

3-1 X9 주파수 체배기

X9 주파수 체배기의 설계규격을 표 1에 나타내었다.

표 1. X9 주파수 체배기 설계규격
Table 1. Specification of X9 frequency multiplier.

항목	규격		단위
	X3	X9	
입력주파수	18.6		MHz
입력전력	0 ± 3		dBm
출력주파수	55.8	167.4	MHz
출력주파수대역	> 1.4	> 4.0	MHz
출력전력	≥ -10	≥ -8	dBm
고조파억압	≥ 50		dBc
소비전류	5 ± 2		mA
전원전압	20		Vdc

그림 3은 X9 주파수 체배기의 구성도인데 VCO단의 출력 신호 18.6MHz를 입력으로 받아서 입력 주파수의 3배가 되는 주파수를 갖는 신호 55.8MHz로 변환시켜 Divider단으로, 입력주파수의 9배가 되는 주파수를 갖는 신호 167.4MHz로 변환시켜 1st X2 체배기로 전달한다. X3 체배기 회로 2개를 직렬로 연결하여 구현되며, 각각의 X3 체배기 회로 다음에는 2-pole BPF를 연결하여 하모닉 성분들은 제거한다. 또한 첫 번째 X3 체배기 회로의 출력단에는 power splitter용 transformer를 사용한다.

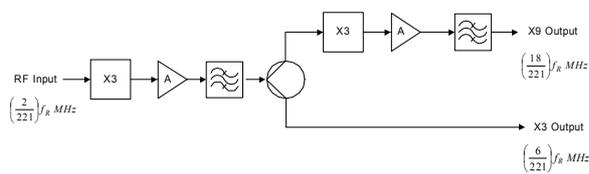


그림 3. X9 주파수 체배기 블록도
Fig. 3. Block diagram of X9 frequency multiplier.

본 논문에서는 ADS를 이용하여 설계하였다.

그림 4, 5는 X9 주파수 체배기의 고조파에 대한 출력 특성이다. 0dBm의 입력신호에 대해 55.8MHz의 3차 하모닉에서 -7.193 dBm, 167.4MHz의 9차 하모닉에서 -4.197 dBm의 출력전력을 나타내었으며, 대역통과 여파기의 삽입으로 3차, 9차 하모닉 외의 성분들이 충분히 억압되었음을 알 수 있다.

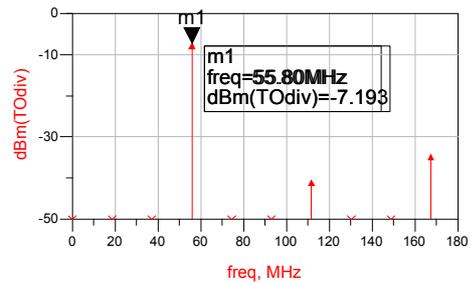


그림 4. X3 주파수 출력특성
Fig. 4. Output characteristics of X3 frequency.

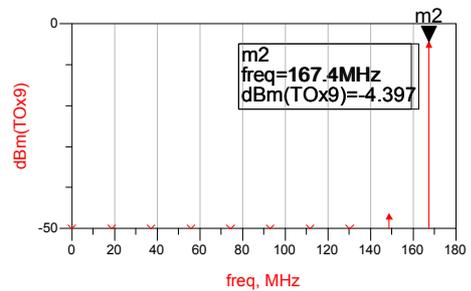


그림 5. X9 주파수 출력특성
Fig. 5. Output characteristics of X9 frequency.

3-2 1st X2 주파수 체배기

1st X2 주파수 체배기의 설계규격을 표 2에 나타내었다.

표 2. 1st X2 주파수 체배기 설계규격
Table 2. Specification of 1st X2 frequency multiplier.

항목	규격	단위
입력주파수	167.4	MHz
입력전력	-6 ± 2	dBm
출력주파수	334.8	MHz
출력주파수대역	8 (nominal)	MHz
출력전력	≥ -3	dBm
고조파억압	≥ 40	dBc
소비전류	1.2 ± 0.3	mA
전원전압	20	Vdc

그림 6은 1st X2 주파수 체배기의 구성도인데 X9 체배기로부터 167.4MHz를 입력으로 받아서 입력 주파수의 2배가 되는 주파수를 갖는 신호 334.8MHz로 변환시켜 2nd X2 체배기로 전달한다. Common emitter 구조의 doubler와 버퍼, 2개의 BPF로 구성되어 있다.

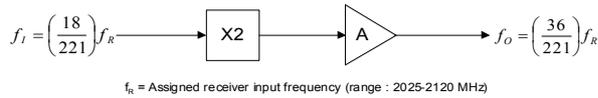


그림 6. 1st X2 주파수 체배기 블록도
Fig. 6. Block diagram of 1st X2 frequency multiplier.

그림 7은 1st X2 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성이다. -6dBm의 입력신호에 대해 2차 하모닉에서 -1.914dBm의 출력전력을 나타내었으며, 대역통과 여파기의 삽입으로 2차 하모닉 외의 성분들이 충분히 억압되었음을 알 수 있다.

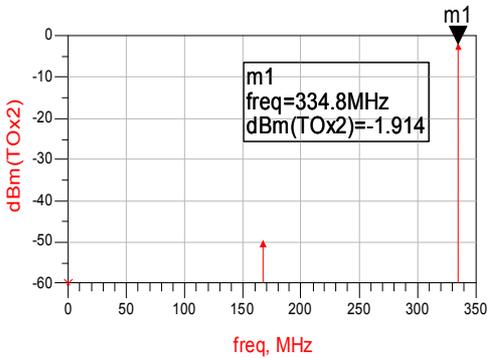


그림 7. 1st X2 주파수 출력특성
Fig. 7. Output characteristics of 1st X2 frequency.

3-3 2nd X2 주파수 체배기

2nd X2 주파수 체배기의 설계규격을 표 3에 나타내었다.

표 3. 2nd X2 주파수 체배기 설계규격
Table 3. Specification of 2nd X2 frequency multiplier.

항목	규격	단위
입력주파수	334.8	MHz
입력전력	-4 ± 2	dBm
출력주파수	669.6	MHz
출력주파수대역	> 16,5	MHz
출력전력	≥ +2	dBm
고조파억압	≥ 40	dBc
소비전류	7.5 ± 1.0	mA
전원전압	20	Vdc

그림 8은 2nd X2 주파수 체배기의 구성도인데 1st X2 체배기로부터 334.8MHz를 입력으로 받아서 입력 주파수의 2배가 되는 주파수를 갖는 신호 669.6MHz로 변환시켜 X3 체배기로 전달한다. Common emitter 구조의 doubler와 버퍼로 구성되어 있다.

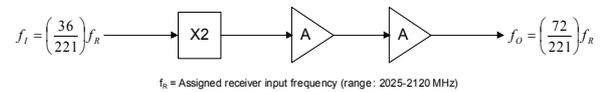


그림 8. 2nd X2 주파수 체배기 블록도
Fig. 8. Block diagram of 2nd X2 frequency multiplier.

그림 9는 2nd X2 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성이다. -4dBm의 입력신호에 대해 2차 하모닉에서 2.035dBm의 출력전력을 나타내었으며, 대역통과 여파기의 삽입으로 2차 하모닉 외의 성분들이 충분히 억압되었음을 알 수 있다.

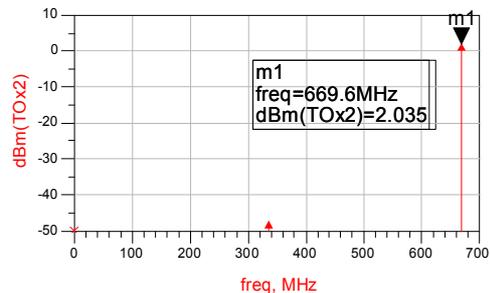


그림 9. 2nd X2 주파수 출력특성
Fig. 9. Output characteristics of 2nd X2 frequency.

3-4 X3 주파수 체배기

X3 주파수 체배기의 설계규격을 표 4에 나타내었다.

표 4. X3 주파수 체배기 설계규격
Table 4. Specification of X3 frequency multiplier.

항목	규격	단위
입력주파수	669.6	MHz
입력전력	0 ± 2	dBm
출력주파수	2008.8	MHz
출력주파수대역	> 15	MHz
출력전력	≥ +7	dBm
고조파억압	≥ 50	dBc
소비전류	≤ 27	mA
전원전압	10	Vdc

그림 10은 X3 주파수 체배기의 구성도인데 2nd X2 체배기로부터 669.6MHz를 입력으로 받아서 입력 주파수의 3배가 되는 주파수를 갖는 신호 2008.8MHz로 변환시켜 1st LO 신호로 사용한다. Local chain의 최종단으로, common emitter frequency tripler와 common emitter buffer로 구성되어 있는데, 각각의 common emitter 뒷단에는 LC tuning 회로와 high Q 2-pole cavity BPF가 연결된다.



그림 10. X3 주파수 체배기 블록도
Fig. 10. Block diagram of X3 frequency multiplier.

그림 11은 X3 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성이다. 0dBm의 입력신호에 대해 3차 하모닉에서 9.017dBm의 출력전력을 나타내었으며, 대역통과 여파기의 삽입으로 2차 하모닉 외의 성분들이 충분히 억압되었음을 알 수 있다.

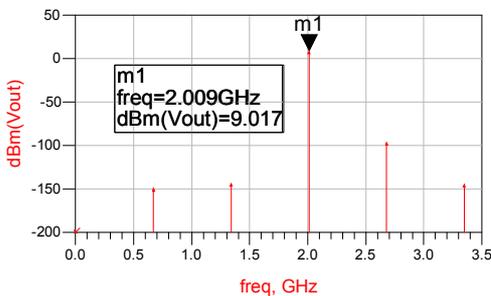


그림 11. X3 주파수 출력특성
Fig. 11. Output characteristics of X3 frequency.

IV. 제작 및 측정

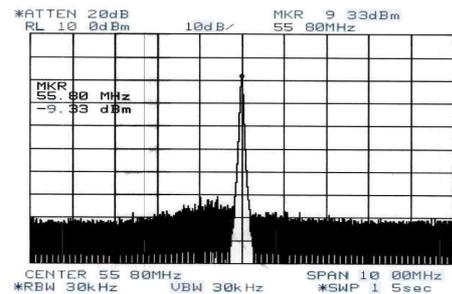
4-1 X9 주파수 체배기

X9 주파수 체배기는 FR-4 기판을 이용하여 제작되었으며, 전체 크기는 110(mm)×27(mm)이다. 트랜지스터는 f_T 가 1.6 GHz인 Microsemi사의 2N2857을 사용하였다. 제작된 X9 주파수 체배기의 사진을 그림 12에 나타내었다.

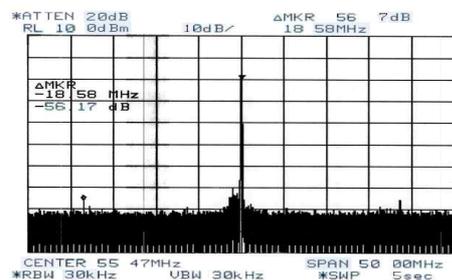


그림 12. 제작된 X9 주파수 체배기 사진
Fig. 12. Photographs of the fabricated X9 frequency multiplier.

측정된 X3 출력 및 고조파 특성을 그림 13에 나타내었다. 측정결과 55.8MHz의 3차 하모닉에서 -9.33dBm의 출력과 -56.17dBc의 2차, 4차 고조파 억압을 보였다. -3dB 이상의 변환이득을 갖는 출력신호의 대역폭이 1.66MHz로 측정되었다.



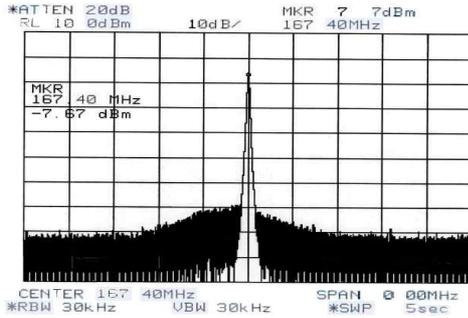
(a)



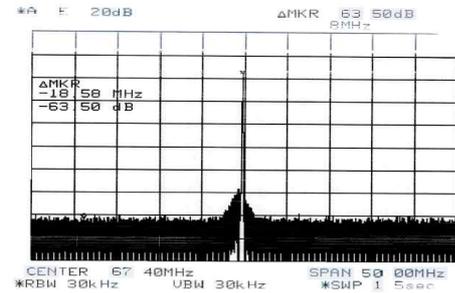
(b)

그림 13. (a) 출력 특성 (b) 고조파 특성
Fig. 13. (a) Characteristics of output, (b) Characteristics of harmonic.

측정된 X9 출력 및 고조파 특성을 그림 14에 나타내었다. 측정결과 167.4MHz의 9차 하모닉에서 -7.67dBm의 출력과 -63.5dBc의 8차, 10차 고조파 억압을 보였다. -3dB 이상의 변환이득을 갖는 출력신호의 대역폭이 5.82MHz로 측정되었다.



(a)



(b)

그림 14. (a) 출력 특성 (b) 고조파 특성
Fig. 14. (a) Characteristics of output, (b) Characteristics of harmonic.

4-2 1st X2 주파수 체배기

1st X2 주파수 체배기는 FR-4 기판을 이용하여 제작되었으며, 전체 크기는 27(mm)×43(mm)이다. 트랜지스터는 f_T 가 1.6 GHz인 Microsemi사의 2N2857을 사용하였다. 제작된 1st X2 주파수 체배기의 사진을 그림 15에 나타내었다.

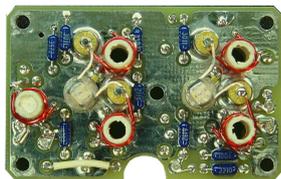
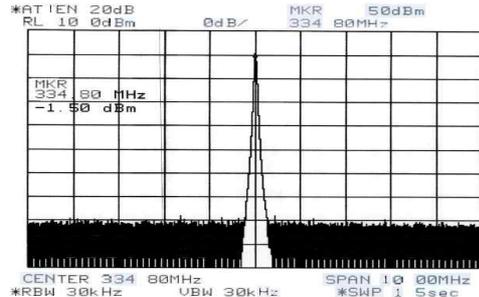
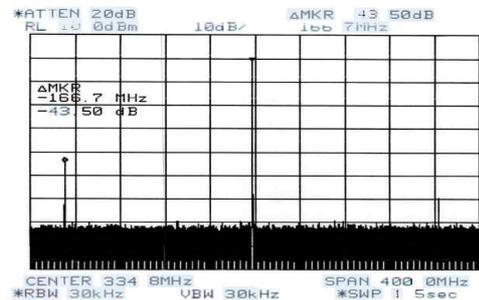


그림 15. 제작된 1st X2 주파수 체배기 사진
Fig. 15. Photographs of the fabricated 1st X2 frequency multiplier.

측정된 1st X2 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성을 그림 16에 나타내었다. 측정결과 334.8MHz의 2차 하모닉에서 -1.50dBm의 출력과 -43.50dBc의 고조파 억압을 보였다. -3dB 이상의 변환이득을 갖는 출력신호의 대역폭이 7.33MHz로 측정되었다.



(a)



(b)

그림 16. (a) 출력 특성 (b) 고조파 특성
Fig. 16. (a) Characteristics of output, (b) Characteristics of harmonic.

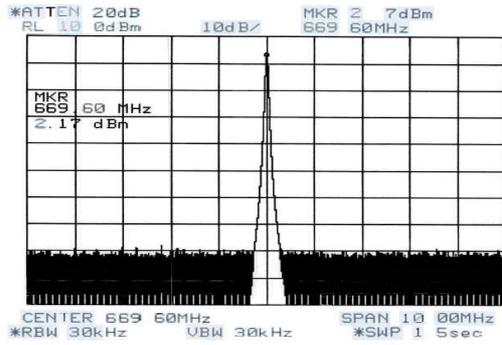
4-3 2nd X2 주파수 체배기

2nd X2 주파수 체배기는 FR-4 기판을 이용하여 제작되었으며, 전체 크기는 23(mm)×65(mm)이다. 트랜지스터는 f_T 가 1.6 GHz인 Microsemi사의 2N2857을 사용하였다. 제작된 2nd X2 주파수 체배기의 사진을 그림 17에 나타내었다.

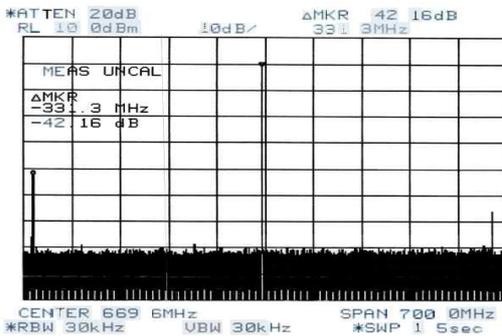


그림 17. 제작된 2nd X2 주파수 체배기 사진
Fig. 17. Photographs of the fabricated 2nd X2 frequency multiplier.

측정된 2nd X2 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성을 그림 18에 나타내었다. 측정결과 669.6MHz의 2차 하모닉에서 2.17dBm의 출력과 -42.16dBc의 고조파 억압을 보였다. -3dB 이상의 변환이득을 갖는 출력신호의 대역폭이 18.72MHz로 측정되었다.



(a)

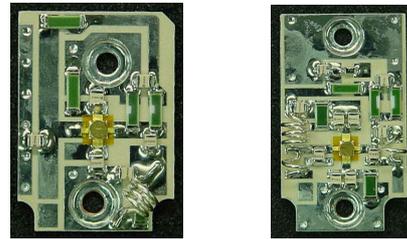


(b)

그림 18. (a) 출력 특성 (b) 고조파 특성
Fig. 18. (a) Characteristics of output, (b) Characteristics of harmonic.

4-4 X3 주파수 체배기

X3 주파수 체배기는 유전율 3.0인 로저스사의 기판을 이용하여 제작되었으며, 전체 크기는 15(mm)×22(mm), 15(mm)×27(mm)이다. 트랜지스터는 f_t 가 8.0 GHz인 AVAGO사의 AT-42070을 사용하였다. 제작된 X3 주파수 체배기의 사진을 그림 19에 나타내었다.

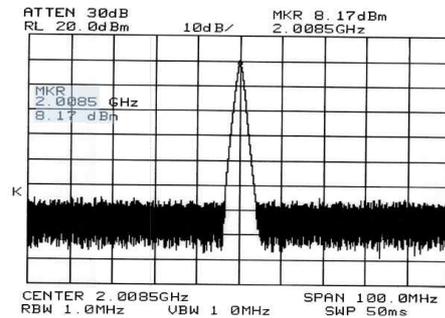


(a)

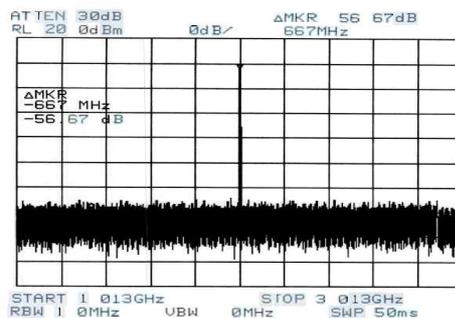
(b)

그림 19. (a) 제작된 X3 주파수 체배기 사진 (b) 제작된 X3 주파수 증폭기 사진
Fig. 19. (a) Photographs of the fabricated X3 frequency multiplier, (b) Photographs of the fabricated X3 frequency amplifier.

측정된 X3 주파수 체배기의 출력 및 고조파 특성을 그림 20에 나타내었다. 측정결과 2008.8MHz의 3차 하모닉에서 8.17dBm의 출력과 -56.67dBc의 고조파 억압을 보였다. -3dB 이상의 변환이득을 갖는 출력신호의 대역폭이 14MHz로 측정되었다.



(a)



(b)

그림 20. (a) 출력 특성 (b) 고조파 특성
Fig. 20. (a) Characteristics of output, (b) Characteristics of harmonic.

V. 결 론

본 논문에서는 Agilent의 ADS를 사용하여 위성용 S-대역 트랜스폰더의 수신부에서 사용하는 주파수 체배기를 설계 제작하였다.

각 블록단위로 설계하여 설계사양을 만족하도록 하였고, X9 주파수 체배기는 0dBm의 18.6MHz 입력에 대하여 -9.33dBm의 55.8MHz와 -7.67dBm의 167.4MHz 출력전력 특성을 얻었고, 1st X2 주파수 체배기는 -6dBm의 167.4MHz 입력에 대하여 -1.50dBm의 334.8MHz 출력전력 특성을 얻었다. 그리고, 2nd X2 주파수 체배기는 -4dBm의 334.8MHz 입력에 대하여 2.17dBm의 669.6MHz 출력전력 특성을 얻었고, X3 주파수 체배기는 0dBm의 669.6MHz 입력에 대하여 8.17dBm의 2008.8MHz 출력전력 특성을 얻을 수 있었다. 체배기 동작의 경우 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 얻을 수 있었고, 제2고조파 출력도 40dBc 이상의 2차 고조파 억압을 보였다. 사용 대역폭도 규격을 만족하였다.

본 연구를 통해 제안된 주파수 체배기는 KOMPSAT 3, 5호에 사용되는 S-대역 트랜스폰더 수신부의 주파수 체배기 모듈 설계에 유용하게 이용될 것이다. 또한 추후 주파수 4체배기 이론과 결합하여 기본주파수와 2배 이상의 주파수 대역의 차이를 갖는 송수신 모듈에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] William Gosling, *RADIO Receivers*, Peter Peregrinus Ltd., 1986.
- [2] Peter Vizmuller, *RF Design Guide - Systems, Circuits, and Equations*, Artech House, 1995.
- [3] L. Ya. Kantor, *Handbook of Satellite Telecommunication and Broadcasting*, Artech House, 1987.
- [4] Timothy Pratt & Charles W. Bostian, *Satellite Communications*, John Wiley & Sons, 1986.
- [5] B. G. Evans, *Satellite Communication Systems*, Peter Peregrinus Ltd., 1987.
- [6] 홍완표, *인공위성과 위성통신*, Ohm사, 1994.

- [7] TC&R Operation Handbook, *KARI*, K2-D1-480-002, pp. 75-78, May 2002.

김 병 수 (金炳守)



1995년 2월 : 조선대학교 제어계측공학과(공학사)
 2006년 12월 : 창원대학교 전자공학과 대학원 재학중
 1995년 3월~현재 : (주)한국항공우주산업 선임연구원 연구원
 관심분야 : 주파수 체배기, 위성통신, 무인정찰기

고 봉 진 (高鳳震)



1986년 2월 : 항공대학교 통신공학과(공학사)
 1988년 2월 : 항공대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 2월 : 항공대학교 전자공학과(공학박사)

1994년 ~ 1996년 : 인하공전 통신과 조교수
 1997년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 초빙연구원
 1996 ~ 현재 : 창원대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 이동통신, USN/RFID, OFDM