

# Ka-band 위성 중계기용 국부발진기의 우주인증모델(EQM) 개발 Development of EQM(Engineering Qualified Model) Local Oscillator for Ka-band Satellite Transponder

류근관 · 이문규\* · 염인복\*\* · 이성팔\*\*

Keun-Kwan Ryu · Moon-Que Lee\* · In-Bok Yom\*\* · Seong-Pal Lee\*\*

## 요 약

본 논문에서는 저위상잡음 특성을 갖는 Ka-band 위성 중계기용 국부발진기의 우주인증모델(EQM)을 개발하였다. 국부발진기의 루프대역 밖의 위상잡음을 개선하기 위하여 유전체 공진기와 결합하는 마이크로스트립 라인을 고임피던스 인버터로 설계하여 전압제어 발진기를 설계하였다. 또한 기구물의 구조해석 및 기판의 열해석이 수행되었으며 설계된 우주인증모델의 국부발진기는 전기적 시험 및 환경시험을 거쳐 EQM 수준의 Ka-band 용 위성중계기에 탑재되었다. 제작된 국부발진기는 52 dBc 이상의 고조파 억압특성을 가지고 있으며 1.3 W 이하의 낮은 전력을 요구한다. -15~+65°C의 온도변화에서 위상잡음은 -101.33 dBc/Hz @10 kHz와 -114.33 dBc/Hz @100 kHz의 우수한 특성을 나타내며 출력전력은 14.0±0.17 dBm을 얻었다.

## Abstract

A low phase noise EQM(Engineering Qualified Model) LO(Local Oscillator) has been developed for Ka-band satellite transponder. A VCDRO(Voltage Controlled Dielectric Resonator Oscillator) is also designed using a high impedance inverter coupled with dielectric resonator to improve the phase noise performances out of the loop bandwidth. The mechanical analysis for housing and the thermal analysis for circuit board are achieved. This EQM LO is applied to Ka-band satellite transponder of EQM level after environmental experiments for space application. The LO has the harmonic suppression characteristics above 52 dBc and requires low power consumption under 1.3 watts. The phase noise characteristics are exhibited as -101.33 dBc/Hz at 10 kHz offset frequency and -114.33 dBc/Hz at 100 kHz offset frequency, with the output power of 14.0 dBm±0.17 dB over the temperature range of -15~+65°C.

Key words : LO, EQM, Phase Noise, Ka-band, Satellite Transponder

## I. 서 론

국부발진기는 모든 무선통신 시스템에 필수적으로 사용되는 부품으로서 전체 시스템의 안정성에 가장 큰 영향을 미치므로 매우 중요한 RF 부품으로 여겨지고 있다. 특히, 위성용의 경우 중계기의 lifetime

동안 고신뢰성, 고안정성, 저위상잡음 특성이 요구된다. 이와 같은 요구조건을 만족하기 위해서 높은 Q의 유전체 공진기가 위성 중계기용 국부발진기에 이용되어 왔으며 국부발진기의 소형화에도 영향력이 크므로 이에 대한 연구가 주로 이루어졌다<sup>[1][2]</sup>.

그림 1은 Ka-band 위성 중계기의 개념도를 나타내

한밭대학교 전기전자제어공학부(Division of Electrical, Electronics and Control Engineering, Hanbat National University)

\*서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부((Division of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

\*\*한국전자통신연구원 통신위성연구그룹(Communication Satellite Research Group, ETRI)

· 논문 번호 : 20031112-153

· 수정완료일자 : 2004년 3월 8일

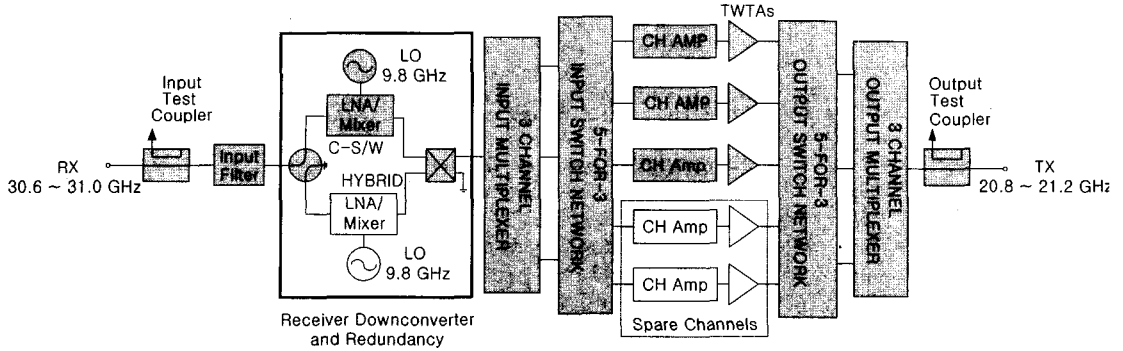


그림 1. Ka-band 위성 중계기의 개념도  
 Fig. 1. Block diagram of Ka-band satellite transponder.

는 것으로 30.6~31.0 GHz의 상향주파수를 X-band의 9.8 GHz의 국부발진기를 이용하여 20.8~21.2 GHz의 주파수 대역으로 하향 변환하는 중계 시스템이다. 중계기의 총 이득은 55 dB이고 잡음지수는 2.3 dB가 요구된다. 중계기는 총 3개의 채널을 사용하며 2개의 잉여채널을 포함하여 채널증폭기 및 TWTAs의 고장시 잉여채널로 전환되게 된다. 수신하향변환기의 경우도 1개의 잉여분을 포함하여 국부발진기 혹은 주파수변환기의 고장시 나머지 수신하향변환기로 전환하게 된다.

위성중계기 및 무선통신용 국부발진기를 위한 구조로는 현재까지 상용화된 PLL 칩을 사용하여 1~2 GHz 대역에서 위상 고정시킨 후에 체배기, 증폭기, 필터 등을 거쳐 X-band의 신호원을 얻는 방법이 있다<sup>[3],[4]</sup>. 그러나 이러한 경우 여러 단의 증폭기 및 체배기를 사용해야 하므로 능동소자의 수를 증가시켜 신뢰성을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다. 뿐만 아니라 증폭 및 체배시 발생하는 고조파 성분을 제거하기 위해서 여러 단의 필터를 사용해야 하므로 국부

발진기의 부피 및 무게를 증가시키는 원인이 된다. 또 다른 방법으로는 X-band의 전압제어 발진기를 구현하고 샘플링 위상비교기를 이용하여 위상고정하는 방식이 사용되기도 한다<sup>[1],[2],[5]</sup>.

본 논문에서는 유전체 공진기와 고임피던스 마이크로스트립라인을 이용하여 저위상잡음의 전압제어 발진기를 설계하여 국부발진기의 루프대역 밖의 위상잡음을 개선하고 샘플링 위상비교기를 이용하여 루프대역 내의 위상잡음을 향상시켰다. 또한 기구물의 구조해석 및 열해석을 수행하여 Ka-band 위성 중계기용 우주인증모델의 국부발진기를 개발하였다.

## II. 우주인증모델의 국부발진기 설계

Ka-band 위성 중계기에 사용될 국부발진기는 전압제어 발진기, 완충증폭기, 저역통과필터, 방향성 결합기, 감쇠기 등의 RF 부분과 VHF 대역 증폭기, 샘플링위상비교기, 루프필터, 바이어스회로 등의 위상고정회로 부분으로 구성되어 있으며 그림 2는 국부발진기의 구성도를 나타낸다. 기준주파수는 98 MHz

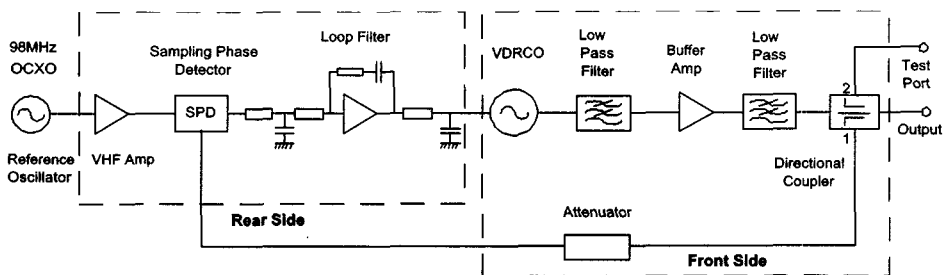


그림 2. EQM 국부발진기의 구성도  
 Fig. 2. Block diagram of EQM LO.

OCXO를 이용하고 RF 부분은 기구의 앞면에 위상고정회로는 기구의 뒷면에 장착하도록 구성하였다. 위성 중계기용 부품인 국부발진기의 요구사항으로는 우주환경에서 lifetime 이상의 동작을 보장하는 신뢰성과 매우 낮은 위상잡음이 중요하다. 이를 만족시키기 위해서는 우주환경에서 혹은 상업용으로서 검증된 전압제어 발진기 및 위상고정 발진기의 구조를 채택하는 것이 필요하며 회로에 사용되는 능동 및 수동소자는 class S의 선정이 필요하다.

### 2-1 전압제어 발진기의 설계

국부발진기에 사용될 전압제어 발진기의 구조로서는 직렬 캐환형 발진기를 채택하였다. 이는 부하에 따른 발진 주파수의 변동이 적으며 회로가 간단하여 구현하기에 적합한 장점을 가지고 있다. 또한 위성부품의 신뢰성을 고려할 때 발진기의 구동 전압과 전류는 정격 전압, 전류보다 충분히 작아야 한다. 하지만 위상잡음은 일반적으로 구동전압에 비례하여 개선되기 때문에 구동전압과 위상잡음 성능 사이에 적절한 선택이 필요하다. X-band 발진기를 구현하기 위한 능동소자로는 BJT, MESFET 등을 사용할 수 있으며, BJT의 경우 캐리어 근처의 위상잡음은 우수하나 DC 전력소모가 크고 출력전력이 작아서 위성용으로는 부적당하다. 이에 반해 GaAs FET의 경우 낮은 DC 전력소모, 온도에 대한 주파수 안정성, 선형적 튜닝 및 높은 RF 출력전력을 얻을 수 있어 위성용 소자로서 사용하기에 적당하다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 GaAs HEMT 소자인 class S의 FHX35X bare chip을 이용하였다. 전압제어 발진기 회로의 무게와 크기를 줄이기 위해 유전율 9.9인 알루미늄 기판을 사용하고 sheet 저항 및 chip 캐패시터를 사용하였다. 또한 발진기의 위상잡음 개선 및 우주인증을 위해 유전율이 30, Qu가 10,000의 제원을 갖는 trans-tech사의 D8733-0245-Y-110 유전체 공진기를 사용하였다. TE<sub>016</sub> mode의 유전체 공진기를 RLC 공진회로로 모델링하고 발진기 설계에 CAD 프로그램인 Libra 6.1을 이용하였다.

유전체 공진기가 마이크로스트립라인과 결합하였을 때 그림 3과 같이 R, L, C 직렬 공진회로로 등가화할 수 있으며 대역저지필터로서 원하는 주파수

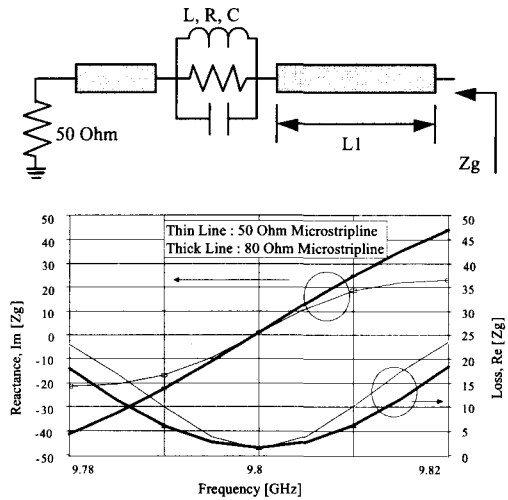


그림 3. 유전체 공진기의 등가회로 및 공진주파수 근처에서 Zg의 궤적

Fig. 3. Equivalent circuit of dielectric resonator and Zg curve for around resonant frequency.

를 충분히 되반사시켜야 한다. 대역저지필터의 반사손실과 반사선택도는 부하로 전달되는 에너지와 위상잡음 특성에 영향을 끼치며 공진기의 Q와 밀접한 관계가 있다. 그림 3에서 공진기와 결합하는 마이크로스트립라인의 특성임피던스에 따른 Zg의 궤적을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 일반적으로 사용되는 특성임피던스 50 Ω인 마이크로스트립라인을 이용한 경우보다 고임피던스인 80 Ω의 마이크로스트립라인을 이용한 경우가 공진주파수 근처에서 Im(Zg)성분 변화의 기울기가 급격하고 Re(Zg)성분이 작음을 알 수 있다. 이러한 현상은 공진회로가 능동소자를 포함한 부하와 직렬연결되었을 때 공진주파수 근처에서 발진기의 위상잡음 특성이 개선됨을 의미한다<sup>[6]</sup>.

초고주파 회로가 위성용으로 사용될 경우 능동 및 수동소자의 정격에 비해 충분히 낮은 stress를 가할 필요가 있다. HEMT의 경우 derating 값은 전류 및 전압에 대해 80%, 전력에 대해 30%가 각각 요구된다. 또한 저항 및 캐패시터의 경우 전력 및 전압에 대해 각각 50%의 derating 값이 요구되며 바랙터 다이오드의 경우 전압의 65%의 derating 값이 요구된다. 표 1은 전압제어 발진기에 사용된 능동 및 수동소자에 대한 part stress 해석을 수행한 결과로, 각 소

표 1. 전압제어 발진기의 part stress 해석

Table 1. Part stress analysis of VCO.

Ref.	Part		Stress Para.	Max Spec. Rating	Max Derating Value	Part Stress Value	
	Style	Value				Applied Stress	Stress Ratio
TR1	HEMT		Vds	4 [V]	3.2	3	75 [%]
			Pt	290 [mW]	87	51	17.5 [%]
VD1	Diode		Vbr	30 [V]	19.5	12	40 [%]
R1	Sheet	100 [ $\Omega$ ]	Power	200 [mW]	100	17	8.5 [%]
R2	Sheet	100 [ $\Omega$ ]	Power	200 [mW]	100	17	8.5 [%]
R3	Sheet	50 [ $\Omega$ ]	Power	50 [mW]	25	0	0 [%]
R4	Chip	1 [k $\Omega$ ]	Power	50 [mW]	25	0	0 [%]
C1	Chip	1000 [pF]	Voltage	50 [V]	25	5	10 [%]

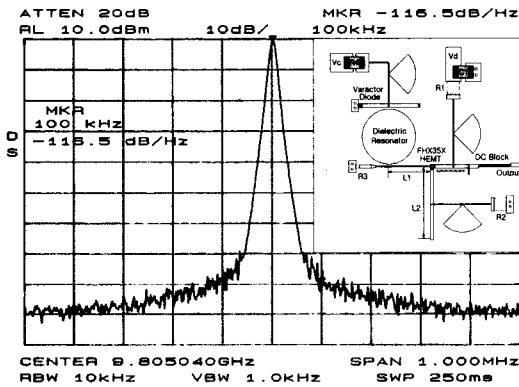


그림 4. 전압제어 발진기의 위상잡음 특성  
Fig. 4. Phase noise characteristics of VCO.

자는 최대 derating 값에 대하여 충분한 여유를 가지고 있으므로 매우 안정성이 높을 것으로 생각된다. 이와 같이 설계된 전압제어 발진기의 carrier 레벨 측정결과 중심주파수 9.8 GHz이고 5 V, 17 mA의 바이어스 조건에서 그림 4와 같이 7.0 dBm 이상의 출력과 -116.5 dBc/Hz @100 kHz의 우수한 위상잡음 특성을 나타내었다.

2-2 완충증폭기, 저역통과필터, 결합기의 설계

앞에서 서술한 전압제어 발진기의 출력 전력은 7 dBm 정도로서 수신하향변환기와 연동을 위한 요구 출력을 내기 위해 완충증폭기를 설계하였다. 완충증폭기의 능동소자도 class S인 Fujitsu 사의 FHX35X bare chip을 이용하였고 평형증폭기로 구성하여 단일

증폭기에 비해 P1 dB를 3 dB 높여 입출력 반사계수 특성 및 고조파 억압특성을 향상시켰다. 표 2는 완충증폭기에 사용된 소자의 part stress 해석 결과로 소자의 최대 derating 값에 비해 충분한 margin을 가

표 2. 완충증폭기의 part stress 해석

Table 2. Part stress analysis of buffer amplifier.

Ref.	Part		Stress Para.	Max Spec. Rating	Max Derating Value	Part Stress Value	
	Style	Value				Applied Stress	Stress Ratio
TR1	HEMT		Vds	4[V]	3.2	3	75[%]
			Vgs	-3[V]	-2.4	-0.2	6.7[%]
			Pt	290[mW]	87	60	20.7[%]
TR2	HEMT		Vds	4[V]	3.2	3	75[%]
			Vgs	-3[V]	-2.4	-0.2	6.7[%]
			Pt	290[mW]	87	60	20.7[%]
R1	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	200[mW]	100	0	0[%]
R2	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	200[mW]	100	20	10[%]
R3	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	200[mW]	100	0	0[%]
R4	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	200[mW]	100	20	10[%]
R5	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	50[mW]	25	0	0[%]
R6	Sheet	50[ $\Omega$ ]	Power	50[mW]	25	0	0[%]
C1	Chip	1000[pF]	Voltage	50[V]	25	0.2	0.4[%]
C2	Chip	1000[pF]	Voltage	50[V]	25	0.2	0.4[%]
C3	SLC	68[pF]	Voltage	50[V]	25	0.2	0.4[%]
C4	SLC	68[pF]	Voltage	50[V]	25	3	6[%]
C5	SLC	68[pF]	Voltage	50[V]	25	0.2	0.4[%]
C6	SLC	68[pF]	Voltage	50[V]	25	3	6[%]

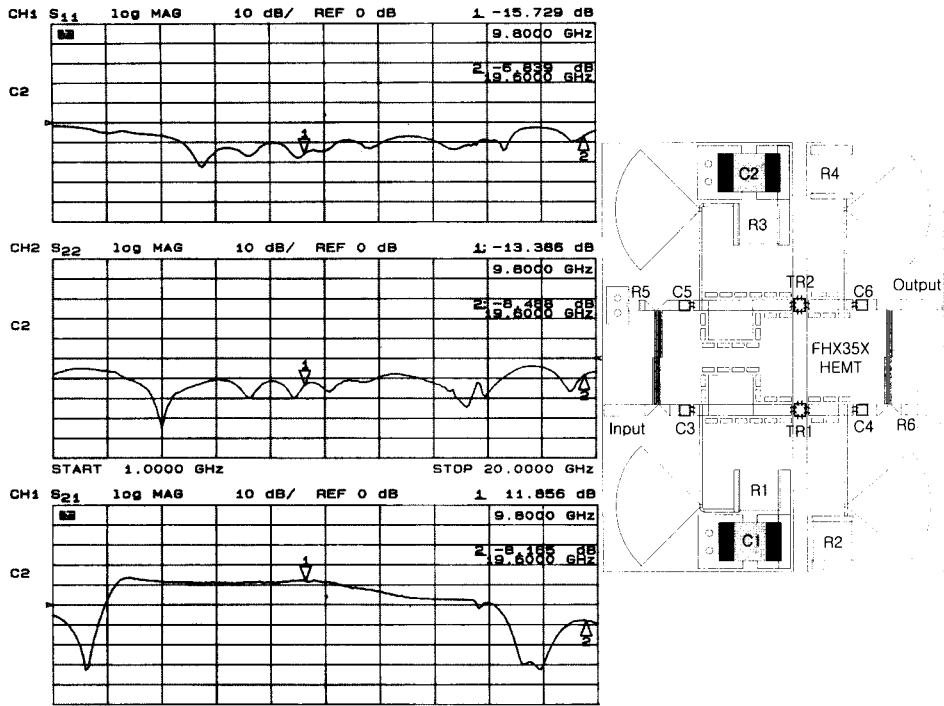


그림 5. 완충증폭기의 반사특성 및 이득특성  
Fig. 5.  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ , and  $S_{21}$  of buffer amplifier.

지고 있으며 그림 5는 carrier 레벨의 측정결과로서 11 dB 이상의 이득을 가지고 있다.

또한 수신하향변환기의 IF 주파수(20.8~21.2 GHz) 및 RF 주파수(30.6~31.0 GHz)에 인접해 있는 국부 발진기의 2차 및 3차 고조파를 억제하기 위해서 저역통과필터를 전압제어 발진기와 완충증폭기 다음 단에 각각 삽입하였다. 마이크로스트립라인을 이용한 저역통과필터는 저지대역에서 주기적으로 나타나는 불요특성으로 인해 3차 및 5차 고조파가 나타나게 되는데 이를 제거하기 위해서 3차 및 5차에 해당하는  $\lambda/4$ 의 trap 회로를 저역통과필터의 양 단자에 삽입함으로써 전체 국부발진기의 고조파 성분을 억제하도록 하였다. 그림 6은 저역통과필터의 carrier 레벨 측정결과로서 marker 2~5는 발진기의 고차 하모닉에 대한 성분으로 충분한 억압특성을 가지고 있다.

국부발진기의 최종출력 이외에 test 단자 출력 및 샘플링위상비교기 단자입력을 위해 3개의 결합라인을 이용한 방향성 결합기를 설계하였다. 방향성 결합기의 주라인은 국부발진기의 출력단자에 연결되도록 하고 -10 dB의 결합계수에 의해 샘플링위상

비교기의 RF 단자와 -13 dB의 결합계수에 의해 test 단자에 각각 연결되도록 설계하였다. 특히, coupling 1번 전송라인에는 sheet 저항(R3, R4, R5)을 삽입하여 교번적으로 gold wire bonding을 함으로써 샘플링 위상비교기로 입력되는 전력을 0~4 dB 변화할 수 있는 감쇠기를 삽입하였다. 그림 7은 방향성 결합기의 carrier 레벨 측정결과로서 샘플링위상비교기 단

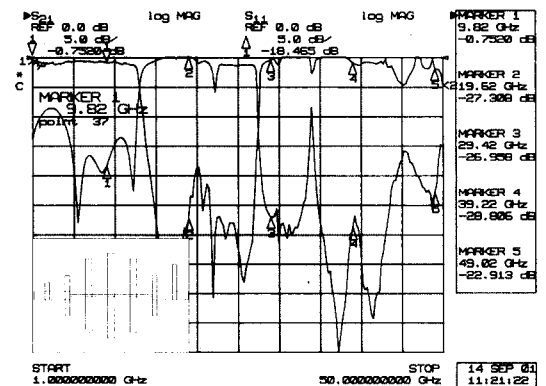


그림 6. 저역통과여파기의 반사특성 및 삽입손실  
Fig. 6.  $S_{11}$  and  $S_{21}$  of LPF.

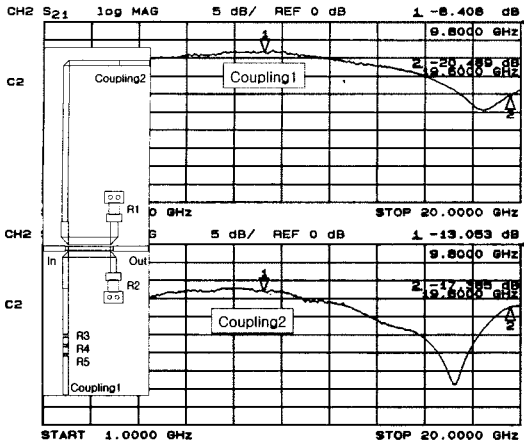


그림 7. 방향성 결합기의 결합특성  
Fig. 7. Coupling characteristics of directional coupler.

자료 -13 dB, test 단자로 -8.4 dB의 결합계수의 특성을 나타낸다.

### 2-3 위상고정 회로의 설계

기준주파수는 FEI에서 제공하는 우주인증모델인 98 MHz의 OCXO를 이용하여 외부에서 인가하도록 하였으며 이를 VHF 대역 증폭기에서 증폭하여 샘플링위상비교기의 기준주파수 입력 요구조건인 17 dBm 이상이 되도록 하였다. 샘플링위상비교기는 두 개의 쇼트키 다이오드, 한 개의 SRD(Step Recovery Diode) 및 두 개의 캐패시터로 구성되어 있다. 기준주파수는 샘플링위상비교기 내의 SRD와 캐패시터를 통해 수많은 고조파를 발생하게 된다. 그 중 98 MHz의 100번째의 고조파 성분이 전압제어 발전기의 주파수 성분과 쇼트키 다이오드에서 위상 비교하게 된다. 쇼트키 다이오드에서의 위상 비교는 주파수 혼합기의 동작원리와 같으므로  $\cos(\theta_{VCO} - \theta_{Reference})$ 의 에러전압과  $\cos(2\omega t + \theta_{VCO} + \theta_{Reference})$ 의 2차 고조파 전압이 발생하게 된다. 루프필터는 능동저역통과필터로서 2차 고조파 성분을 제거하고 에러전압만을 여과 및 증폭하여 전압제어 발전기의 제어전압으로 사용하게 되고 이러한 기능을 계속 반복하여 전압제어 발전기의 주파수가 고안정의 OCXO에 위상고정하게 된다. 이때 루프필터의 대역폭은 OP amp의 RC 시정수 값에 의해 결정되는데 본 논문에서는 Ka-band 위성중계기용 국부발전기의 성능 규

격을 고려하여 루프필터의 대역폭을 60 kHz로 하였다. 또한 샘플링위상비교기 주변회로 구성시 sweep 기능을 추가하여 국부발전기의 위상고정이 풀렸을 때 전압제어 발전기의 제어전압 단자에 sweep 전압을 공급하여 곧바로 OCXO의 위상에 고정되도록 하였다. 그 밖의 RF 회로 및 OP amp의 전원을 위해 레귤레이터 회로와 능동바이어스 회로를 구성하여 위상고정회로에 삽입하였다.

### III. 구조해석 및 열해석

위성 중계기의 발사시 저주파 진동으로 인하여 부품의 파손, 균열 등이 발생할 수 있다. 이에 국부발전기의 기구물에 대한 구조해석을 수행할 필요가 있으며 본 논문에서는 구조해석을 위해서 상용 CAD인 PATRAN과 NASTRAN을 이용하였다. 표 3은 위성용 부품의 진동시험에 대한 요구사항을 나타낸 것으로 x, y z 축 방향으로 각각 10~100 Hz의 sine파 진동시험과 20~2000 Hz의 주파수에서 19.9배의 중력가속도 시험인 랜덤 진동시험이 요구된다. 이러한 진동시험을 만족시키기 위해서는 부품의 기구물이 갖는 고유공진 주파수가 sine파 진동시험 주파수 범위보다 큰 100 Hz 이상이 되어야 한다. 기구물의 공진주파수는 기구물 형상의 종횡축비, 재질(탄성계수, 포화성비, 밀도), 질량 및 두께 등을 반영한 FE(Finite Element) model을 pre-processor(PATRAN 이용)로 만들고 FEM(Finite Element Method)의 수치해석(NASTRAN 이용)에 의해 구해진다. 본 논문에서의 국부 발전기는 기구물 재질로서 Al6061 T6(탄성계수 69,000 N/mm<sup>2</sup>)을, 각 회로의 carrier 재질로서 Kover(탄성계수 131,000 N/mm<sup>2</sup>)를, 회로의 기판 재

표 3. 진동시험의 요구사항  
Table 3. Requirement of vibration test.

Frequency	Test Level
10~24 Hz	12.7 mm*
24~36 Hz	± 15 g
36~55 Hz	± 20 g
55~100 Hz	± 7 g
Random (20~2000 Hz)	0.2 g <sup>2</sup> /Hz (19.9 grms)

\* shaker maximum amplitude.

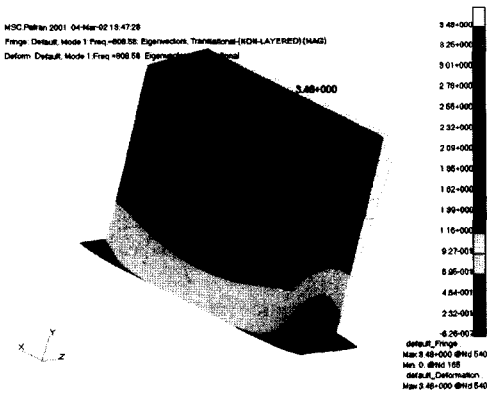


그림 8. EQM LO 기구물의 구조해석  
Fig. 8. Structure analysis of housing for EQM LO.

질로서  $Al_2O_3$ (탄성계수  $345,000 N/mm^2$ )을 각각 사용하였으며 808.58 Hz의 고유공진 주파수를 갖는다. 그림 8에서는 기구물 구조상 가장 취약한 방향인 z 축 방향으로 모의 진동하였을 경우 기구물의 상단부분이 최대 3.48 mm까지 움직일 수 있음을 나타내고 있으며 국부발진기 기구물의 고유공진 주파수가 808.58 Hz이므로 sine파 진동시험 요구조건인 100 Hz보다 훨씬 높은 값을 갖기 때문에 충분한 margin을 가지고 있음을 알 수 있다.

위성용 부품의 경우, 증계기의 lifetime 동안 동작해야 하므로 회로에서 발생하는 열에 의한 성능저하를 방지하여야 한다. 그림 9와 같은 10 사이클 이상의 thermal vacuum 시험을 통하여 열에 의한 성능저하 여부를 판단한다. 따라서 각각의 회로 기판에 대해서 열해석 수행이 필요하며 열해석 프로그램으로는 Harvard Thermal 사의 TAS(Thermal Analysis System)을 이용하였다. 그림 10에서는 회로의 능동소자에서 소모되는 전력으로 인한 case 온도를 나타내고 있으며 이로부터 능동소자와 기판 사이의 열저항을 이용하여 구한 접합온도(junction temperature)가 최대 derating 값보다 충분히 작아야 한다. 표 4는 국부발진

표 4. 열 stress의 해석  
Table 4. Analysis of heat stress.

Component	Heat (W)	Rth <sub>jc</sub> (°C/W)	Predicted Temperature (°C)		Maximum Derated Temperature (°C)
			Case	Junction	
OMR7805NHM Regulator	0.3842	17	75.56	82.1	110
FHX35X	0.06	200(max.)	77.52	89.52	110

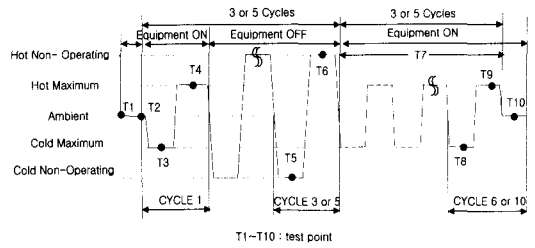


그림 9. Thermal vacuum 시험과정  
Fig. 9. Thermal vacuum test process.

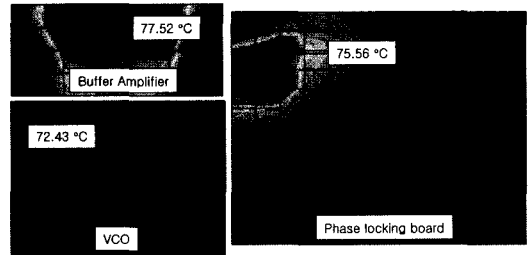


그림 10. 회로의 열해석  
Fig. 10. Thermal analysis for circuit board.

기에서 열을 많이 발생시킬 것으로 예상되는 phase locking board의 레플레이터와 완충증폭기의 HEMT 소자에 대한 접합온도와 소자의 최대 derating 값인 110°C를 비교한 것으로 충분한 margin을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 증계기에서 요구되는 부품의 최대 열흐름밀도(maximum heat flux density)는 0.4 W/cm<sup>2</sup>인데 이는 부품의 전체 소모전력에 대해 기구물과 증계기 판별과의 접촉면적의 비로서 구해질 수 있으며 계산결과 0.07511 W/cm<sup>2</sup>로 충분한 margin을 가지고 있다.

#### IV. 제작 및 시험결과

앞서 기술한 방법을 이용하여 설계된 9.8 GHz의 전압제어 발진기, 완충증폭기, 저역통과필터 및 방향성 결합기의 RF 부분은 유전율 9.9, 두께 15 mils

의 알루미늄 기판에 제작하였다. 또한 샘플링위상비 교기 주변회로 및 루프필터 회로를 FR4 기판에 제작하였으며 기구물의 양면을 사용하여 RF 회로와 분리하여 집적화하였다. 기구물의 RF 부분은 bare chip 만을 사용하였으므로 진공상태로 만들고 헬륨가스를 채워 laser sealing을 하였으며 package 소자만을 사용한 위상고정회로부분은 기구물에 venting hole을 내어 우주환경에 적합하도록 하였다. 또한 모든 능동 및 수동소자는 위성용인 class S 규격의 부품을 사용하여 그 신뢰성을 확보하였다. 국부발진기의 전체 체적은 96 mm×78.4 mm×31.5 mm이고 무게는 211 g 이하이다. DC 전원은 15, 8, -8 V를 필요로 하며 전체 전력소모는 1.3 W 이하로서 상용제품으로 제공되는 것과 비교하여 그 소비전력이 매우 낮다.

개발된 EQM 국부발진기는 초기의 전기적 시험으로 성능을 확인한 후 sine와 진동시험과 랜덤 진동시험 및 10 사이클의 thermal vacuum 시험 등의 환경시험을 거친 후 전기적 시험을 재시험하였으며 출력전력 및 위상잡음 특성은 HP8565E 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 그림 11은 국부발진기의 출력 특성으로 14.0 dBm을 나타내고 있어 설계요구사항을 만족한다. 그림 12는 -15~+65°C의 온도범위에서 측정된 위상잡음 특성으로 -101.33 dBc/Hz @10 kHz와 -114.33 dBc/Hz @100 kHz의 특성을 얻었으

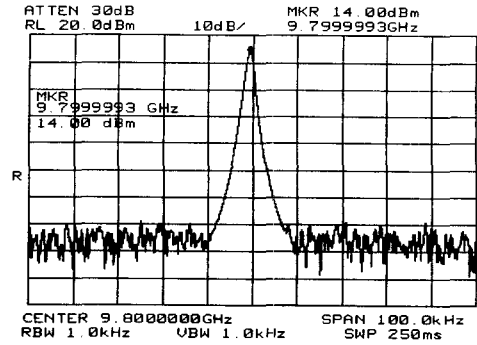


그림 11. EQM 국부발진기의 출력 특성  
Fig. 11. Output power of EQM LO.

며 loop 대역 밖의 위상잡음은 전압제어 발진기의 위상잡음을 그대로 나타내어 매우 낮은 위상잡음을 얻을 수 있었다. 그림 12에서 실선은 설계규격을 의미하는 것으로 온도구간 및 전대역에서 모두 설계규격을 만족하고 있다. 이는 기존의 상용품에 비해 매우 우수한 특성을 나타내는 것이다. 국부발진기의 고조파 및 대역내 불요잡음 억제특성은 각각 52 dBc 이상과 80 dBc 이상으로 그림 13과 그림 14에 나타내었다. 또한 10 사이클의 thermal vacuum 시험을 통해 특성변화를 관찰한 결과 ±0.17 dBm의 출력전력 변동 및 최대 ±1.3 dBc/Hz의 위상잡음 변화를 가지고 있어 온도변화 및 진공환경에서 매우 안정된 특성을

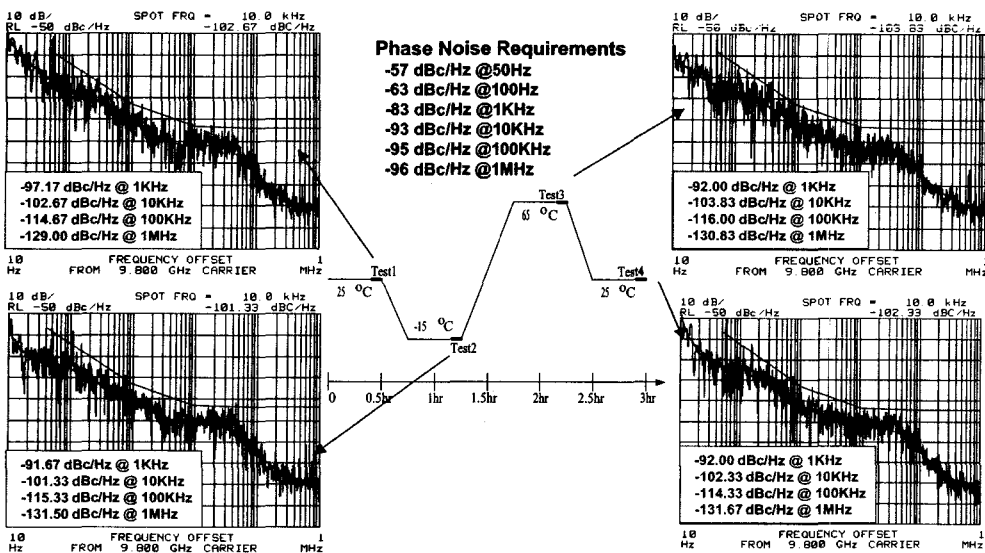


그림 12. EQM 국부발진기의 위상잡음 특성  
Fig. 12. Phase noise characteristics of EQM LO.



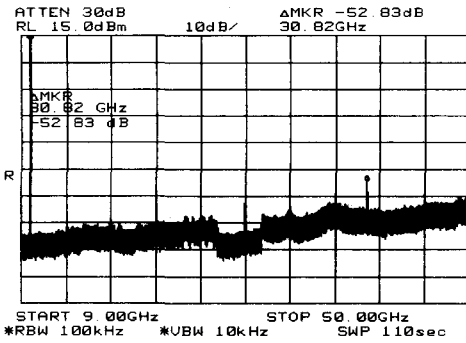


그림 13. EQM 국부발진기의 고조파 특성  
Fig. 13. Harmonics of EQM LO.

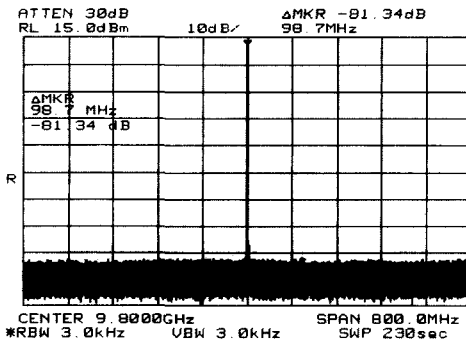


그림 14. Ka-band 위성중계기의 대역내에서 국부발진기의 불요잡음 특성  
Fig. 14. Spurious of EQM LO in band for Ka-band satellite transponder.

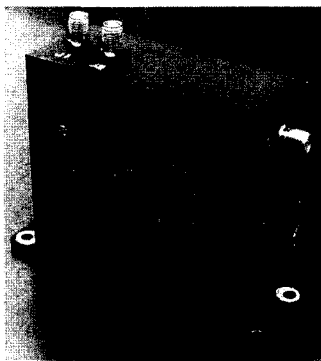


그림 15. Ka-band 위성중계기용 EQM 국부발진기  
Fig. 15. Photograph of EQM LO for Ka-band satellite transponder.

나타내었다. 이렇게 제작된 국부발진기는 추가적으로 제작된 수신하향변환기와 연동하여 EMC 환경시험을 수행하였으며 EMC 차폐를 만족하고 있음을

표 5. 개발된 EQM 국부발진기의 성능  
Table 5. Performance of EQM LO.

Parameter	Requir.	Meas.	Comp.
Frequency [GHz]	9.8	9.8	C
Supply Voltage [V]	15, 8, -8	15, 8, -8	C
Supply Current [mA]	20, 140, 5	16, 123, 0	C
Output Power [dBm]	14.0±1	14.0±0.17	C
Test Port Power [dBm]	> -7	1.83	C
Phase Noise at 50 Hz [dBc/Hz]	-57	-71.83	C
Phase Noise at 100 Hz [dBc/Hz]	-63	-76.00	C
Phase Noise at 1 kHz [dBc/Hz]	-83	-91.17	C
Phase Noise at 10 kHz [dBc/Hz]	-93	-101.33	C
Phase Noise at 100 kHz [dBc/Hz]	-95	-114.33	C
Phase Noise at 1 MHz [dBc/Hz]	-96	-129.00	C
Harmonics @2fo [dBc]	>30	52.83	C
Spurious [dBc]	>70	81.84	C
Stability [ppm]	±1.0	-0.11	C
Source Impedance [Ohm]	50	50	C
Power Consumption [W]	-	<1.3	C
Weight [g]	-	211 g	C
Thermal Vacuum [°C]	-15~65	-15~65	C
Vibration [G]	20 G	20 G	C
EMC Test	-	OK	C

확인함으로써 위성용 부품으로서 요구사항을 모두 만족하였다. 그림 15와 표 5는 개발된 EQM 국부발진기의 실물사진과 설계요구사항 및 성능을 각각 보여주고 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 낮은 위상 잡음을 갖는 Ka-band 위성 중계기용 국부발진기의 우주인증모델을 개발하였다. 국부발진기의 loop 대역 밖의 위상잡음을 개선하기 위해 유전체 공진기의 Q 값이 능동소자에 그대로 전달되도록 유전체 공진기와 결합하는 마이크로 스트립 라인을 고임피던스 라인으로 설계하였으며 우주인증모델을 위해 기구물의 구조해석 및 회로기판의 열해석을 수행하였다. 개발된 EQM 국부발진기는 전기적 시험과 환경시험이 수행되었으며 시험결과 Ka-band 위성중계기용 국부발진기의 설계규격을 모두 만족시켰다. 본 논문에서 개발한 우주인증모델의 국부발진기 및 전압제어 발진기의 설계기법

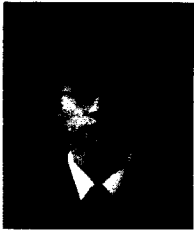
및 제조기법은 향후 통신해양기상위성용 국부발진기의 개발에 직접 응용될 수 있을 뿐만 아니라 다양한 통신시스템의 국부발진기의 설계에 응용될 수 있겠다.

참 고 문 헌

[1] N. R. Mysoor, "An electronically tuned, stable 8415 MHz dielectric resonator FET oscillator for space applications", *Aerospace Applications Conference Digest*, pp. 147-156, 1990.  
 [2] B. Hitch, T. Holden, "Phase locked DRO/CRO for space use", *Proceedings of the 1997 IEEE Frequency Control International Symposium*, pp. 1015-1023, 1997.

[3] T. A. Bos, F. Bayer and U. Lott, "A low cost 16.2 GHz phase locked oscillator for wireless LAN", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1395-1398, 1997.  
 [4] E. A. Craig, J. E. Mulholland, "Stable X-band local oscillator", *Applied Microwave and Wireless, Summer*, pp. 65-76, 1995.  
 [5] J. Perez, P. Dorta and F. Sierra, "A comparison of the performance of three different phase locked oscillator fabricated at 21 GHz", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 305-308, 1992.  
 [6] M. Q. Lee, K. K. Ryu and I. B. Yom, "Phase noise reduction of microwave HEMT oscillator using a dielectric resonator coupled by a high impedance inverter", *ETRI Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 199-201, 2001.

류 근 관



1992년 2월: 광운대학교 전자통신 공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 광운대학교 전자통신 공학과 (공학석사)  
 2000년 2월: 광운대학교 전자통신 공학과 (공학박사)  
 2000년 3월~2003년 1월: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원

2003년 2월~현재: 한밭대학교 전기전자제어공학부 전임강사  
 [주 관심분야] 초고주파 회로(MMIC, Hybrid) 설계, 안테나 설계

이 문 규



1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1999년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)  
 1999년 3월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원

2002년 3월~현재: 서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부 조교수  
 [주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 능동(MMIC, Hybrid) 및 수동 부품회로 설계, (국부)발진기의 비선형 최적 설계

염 인 복

1990년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
 1992년 9월~1995년 5월: 무궁화 위성 현장교육 참여(영국 Matra Marconi사)  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 통신위성연구그룹 선임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신중계기, MMIC회로, 필터 설계

이 성 팔

1978년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1986년: Polytecnic Institute of New York 전기전자공학과 (공학석사)  
 1990년: Polytecnic Institute of New York 전기전자공학과 (공학박사)  
 1980년~현재: 한국전자통신연구원 통신위성연구그룹 책임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신시스템