

디지털 지상파 및 다중 표준 수신을 위한 RF 모듈 설계

고 민 호*, 신 현 식**, 박 효 달*

A RF Module for digital terrestrial and multi-standard reception

Min-Ho Go*, Wook-Ki Park*, Hyun-Sik Shin** Regular Members, Hyo-Dal Park** Lifelong Members

<요 약>

디지털 지상파 및 다중 표준(DVB-C, ISDB-T, DVB-H) 수신에 응용할 수 있는 RF 모듈을 개발하였다. 단일변환 방식을 적용하였고 광대역(45MHz~860MHz) 방송 채널을 세 개(UHF, VHF_HIGH, VHF_LOW)의 대역으로 분할하여 영상신호 응답 및 위상잡음 특성, IF 평탄도와 같은 전기적 특성을 만족시킬 수 있었다. 또한 아날로그 방송과 디지털 방송이 함께 서비스되는 환경에서 아날로그 신호 및 디지털 신호의 인접채널 간섭 및 동일채널 간섭 특성과 같은 디지털 수신 성능 규격을 만족하도록 하였다.

ABSTRACT

The RF Module which can be adjusted for a digital terrestrial and multi standard(DVB-C, ISDB-T, DVB-H) reception is developed. The Module by single conversion does divide a broadband(45MHz~860MHz) broadcasting channels into three-bands(UHF, VHF_HIGH, VHF_LOW) to satisfy some electrical performances such as image signal rejection, phase noise, IF flatness etc and digital reception specifications such as analog and digital adjacent channel protection, co-channel protection which is important in environment with co-existence both analog and digital broadcasting systems.

키워드

Terrestrial, Broadcasting, Nordig, Multi-standard, Module

I. 서 론

아날로그 방송에 비하여 디지털 방송은 전송 및 디지털신호처리 기술의 발달로 인하여 전송채널 대역폭의 이용효율을 개선하여 우수한 화질 및 음질의 서비스를 가능하게 하였을 뿐 아니라 전송 전력 및 신호 간섭을 감소시킬 수 있도록 하였다. 또한 디지털 방송은 멀티미디어 콘텐츠의 디지털화와 네트워크의 디지

털화, 광대역화와 같은 정보통신 기술의 발전을 바탕으로 방송통신의 융합 및 다양한 무선 멀티미디어 서비스의 통합 형태로 발전될 전망이다. 하지만 지상파 디지털 방송은 광대역(45MHz~860MHz)에 방송 채널들이 조밀하게 분포되어 있으며 지상파 디지털 방송으로 전환하는 동안 기존 아날로그 방송의 송출을 중지할 수 없기 때문에 아날로그 방송 채널과 디지털 방송 채널이 동시에 방송되어야 한다. 상기에서 언급

* 인하대학교 전자공학과 초고주파 연구실(sydney989@hanafos.com, ukkipark@hotmail.com, hdpark@inha.ac.kr)

** 국립여수대학교 전자통신공학과 (shinhs@yosu.ac.kr)

접수일자 : 2006년 10월 10일

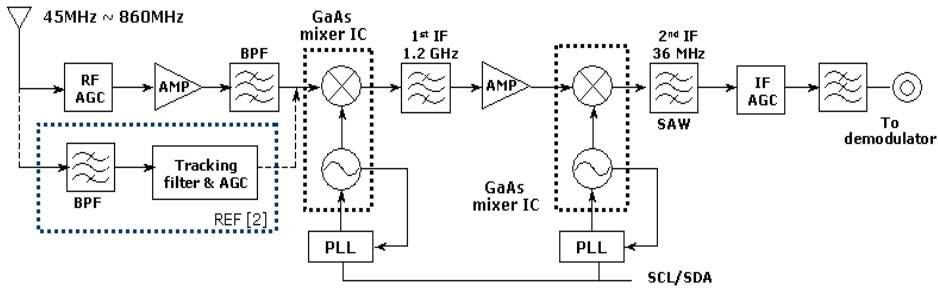


그림 1. 이중변환 방식의 디지털 지상파 모듈 구조
Fig. 1. Digital terrestrial module by double conversion method

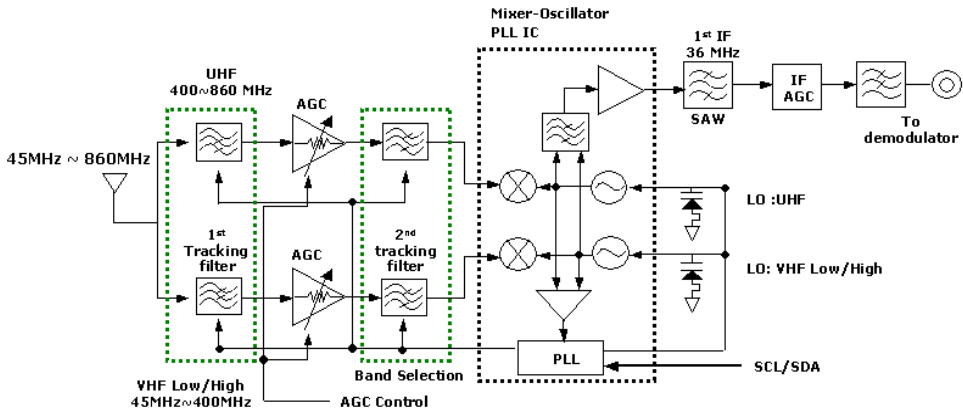


그림 2. 2-대역 단일변환 방식의 디지털 지상파 모듈 구조
Fig. 2. Two-band Single conversion digital terrestrial module

한 디지털 방송 채널 환경에서 동작하는 디지털 지상파 수신기는 두 방송 대역간의 상호간섭 영향을 최소화시키고 통과대역내의 평탄도 및 위상잡음 특성이 좋아야 하며 또한 높은 영상신호 제거비 특성을 요구하고 있다. 이러한 수신기의 성능을 만족시키기 위하여 디지털 지상파 RF 모듈의 구성은 이중변환(Double Conversion) 방식 또는 단일변환(Single Conversion) 방식으로 구현한다. 그림1과 같은 이중변환 방식은 입력된 광대역(45MHz~860MHz) 신호 주파수보다 높은 1차 중간주파수(1st IF)로 변환시킨 후 대역통과필터(BPF)로 고정된 중간주파수에서 필터링 이후에 다시 낮은 2차 중간주파수(2nd IF)로 변환시키는 방식으로 선택도, IF 평탄도 및 영상신호 제거비 특성이 우수한 장점이 있는 반면에 사용되는 부품수가 많으며 전력

소모가 크다는 단점이 있다[1].

이중변환 방식 구조에 트래킹 필터가 포함된 구조의 디지털 지상파 RF 모듈은 선형성 및 간섭신호에 의해서 발생하는 상호변조(Inter Modulation), 교차변조(Cross Modulation) 및 포화(Saturation) 특성을 개선할 수 있는 장점이 있지만 전압제어발진기와 트래킹 필터 사이의 주파수 상관관계가 없기 때문에 제어기를 이용하여 소프트웨어적인 조정이 필요하고, 트래킹 에러를 보상할 수 있는 에러보정 기능이 추가로 고려되어야 하므로 매우 복잡해지는 문제를 갖는다[2].

단일변환(Single Conversion) 방식은 단일 주파수 변환을 이용하여 원하는 중간주파수(IF) 신호로 주파수 변환을 하므로 구조가 간단하고 비용이 저렴한 장점이 있지만 다른 방송 채널들 사이의 간섭에 민감한

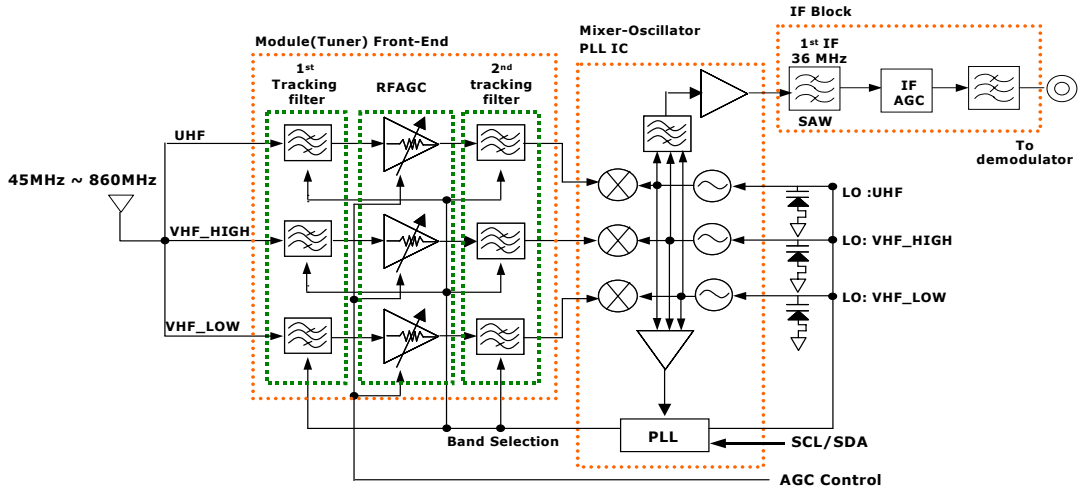


그림 3. 3-대역단일변환 방식의 디지털 지상파 모듈 구성
 Fig. 3. Three-band digital terrestrial module by single conversion

특성을 갖기 때문에 그림 2와 같이 수신기로 입력되는 광대역(45MHz~860MHz) 신호를 2개의 대역, 즉 VHF (45MHz~450MHz) 및 UHF(450MHz~860MHz)으로 분리하여 각 대역별로 트래킹 필터를 사용하여 인접채널 및 상호간섭 억압 성능을 만족시키고 있다. 그러나 원하는 대역을 선택하기 위한 스위칭 동작으로 인하여 위상 잡음특성이 나쁘며 IF 평탄도 및 UHF 대역에서의 영상신호 제거비와 같은 특성들이 저하되는 단점을 갖는다.

수신기로 입력되는 광대역(45MHz~860MHz) 신호를 3개의 대역(VHF_LOW, VHF_HIGH 및 UHF)으로 분리하기 때문에 원하는 대역을 선택하기 위하여 스위칭 동작이 필요하지 않는다. 이런 구조는 발진기 및 트래킹 필터의 공진기 Q값을 최대로 할 수 있으므로 위상잡음 특성 및 인접채널 및 상호간섭 억압 성능을 2개의 대역으로 나누는 방식보다 개선할 수 있으며 IF 평탄도 및 UHF 대역에서의 영상신호 제거비와 같은 특성들이 저하되는 단점을 보완할 수 있다. 또한 단일변환 방식의 구조는 이중변환 방식보다 전류 소모량이 적어 이동수신 분야에도 적용할 수 있는 구조이다.

본 논문은 디지털 지상파 뿐만 아니라 디지털 케이블 방송 수신에도 적용할 수 있는 RF 모듈에 관한 것으로 영상신호 제거비, 인접채널 및 상호간섭 억압 특

성을 개선할 수 있는 세 대역 트래킹 필터를 설계하였으며 상용으로 판매되고 있는 MOPLL(Mixer-Oscillator PLL) IC를 적용하여 지상파 디지털 모듈을 설계 및 제작하였다. 본 논문은 II장에서 디지털 지상파 모듈의 구성에 대해서 설명하고 III장에서는 모듈의 설계 및 측정결과에 대해서 언급하였고 IV장에서 결론을 맺는 내용으로 구성하였다.

II. 디지털 지상파 모듈 구성

2.1 디지털 지상파 모듈 구조

디지털 RF 모듈은 방송되고 있는 광대역 채널 중에서 원하는 채널만을 선택하여 중간주파수(IF)로 변환시켜주는 블록으로 디지털 지상파 수신기의 수신 성능을 좌우하는 중요한 부분이다.

주파수 변환은 단일변환 방식을 이용하여 수신된 광대역(45MHz~860MHz) 신호를 세 개의 대역, 즉 VHF_LOW (45MHz~157MHz)대역, VHF_HIGH(160MHz~ 450MHz)대역 및 UHF (450MHz~860MHz) 대역으로 분할하여 선택된 대역을 중간주파수(IF : 36MHz)로 변환하였다.

그림 3은 세 개의 대역(VHF_LOW, VHF_HIGH, UHF)으로 분리한 단일변환 방식을 적용한 RF 모듈의 구성을

나타내 것으로 1차 및 2차 트래킹 필터, RF 자동이득제어(AGC) 회로, 주파수 변환을 위해서 혼합기(mixer)와 전압 제어발진기(VCO) 및 주파수 합성기(PLL)가 하나의 칩으로 구성된 MOPLL(Mixer-Oscillator PLL), 중간주파수(IF) 회로들로 구성되어 아래와 같은 기능을 수행하도록 설계하였다.

- 수신되는 광대역 채널 중에서 원하는 채널만을 선택하여 중간주파수로 변환하는 주파수 변환기능.
- 광대역 입력 주파수를 3개의 대역으로 분할하여 각 대역별로 분리도(isolation)를 위한 대역선택(Band Selection) 기능.
- 필립스에서 제안한 IC간 통신 방식으로 클럭(SCL)과 데이터(SDA) 라인으로 동기 양방향 통신인 I²C 방식을 사용하여 방송 채널 주파수 튜닝(Tuning) 기능.
- 지연(Delayed) AGC 방식을 적용하여 RF 및 IF 자동이득제어(AGC)회로의 제어전압 신호를 통한 수신 이득제어 기능.
- 낮은 잡음특성과 영상신호 및 간섭채널 제거 기능.

2.2 모듈의 전치단(Front-End)

VHF_LOW(45MHz~157MHz), VHF_HIGH(160MHz~450MHz) 및 UHF(450MHz~860MHz)의 세 개의 대역으로 구성하였고 안테나를 통해 입력되는 신호들은 고역통과필터를 통하여 45MHz~860MHz의 대역만 통과시키고, 중간주파수의 누설을 막기 위해서 중간주파수 트랩(IF Trap) 회로를 구성하였다. 각각의 방송 채널들에 주파수 동조(resonance)를 제공하는 1차 및 2차 트래킹(Tracking) 필터와 이중 게이트(Dual Gate) MOSFET로 구현한 RF 자동이득제어(AGC) 회로를 조합하여 저잡음 증폭 및 AGC 기능을 수행할 뿐만 아니라 원하는 방송 채널에 이득을 제공하며, 원하지 않는 방송 채널 및 채널 대역 외 간섭 신호들에 의해서 발생하는 상호변조 성분들을 억압할 수 있도록 하였다. 세 대역간의 우수한 격리도(Isolation) 특성을 위해서 RF 자동이득제어 회로의 이중 게이트(Dual Gate)의 동작 전원을 ON/OFF하여 원하는 대역만 선택할 수 있도록 하였다. 모듈의 전치단(Front-End)은

그림 4처럼 1차 및 2차 트래킹 필터의 튜닝 전압과 전압제어발진기의 튜닝 전압을 함께 연결하여 입력된 방송 채널 주파수와 발진 주파수 사이에 상관관계를 갖도록 구성하였다.

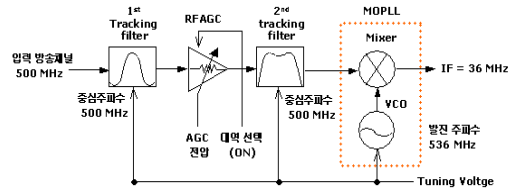


그림 4. 단일변환 모듈의 동작

Fig. 4. The operation of the single conversion module

2.3 주파수 변환(MOPLL IC)

주파수 변환은 각 대역별로 구성된 혼합기(Mixer)와 전압제어발진기(VCO), 디지털로 프로그래밍이 가능한 위상고정루프(PLL) 및 중간주파수 증폭기가 집적된 상용 MOPLL IC를 이용하여 입력되는 방송 채널 신호를 중간주파수로 변환하였다. 중간주파수 증폭기는 대칭구조의 75 ohm 출력 임피던스를 갖기 때문에 SAW 필터를 직접 구동할 수 있도록 되어 있으며, 혼합기 출력과 중간주파수 증폭기 입력 사이에 대역 통과필터를 넣을 수 있기 때문에 인접 채널 억압을 효과적으로 할 수 있다. 기준 주파수로 평형 구조의 4MHz 수정 발진기를 사용하여 제공되는 여러 스텝 주파수 중 하나를 선택할 수 있을 뿐만 아니라 전하 펌프(Charge Pump) 전류도 루프필터(Loop Filter) 설계와 위상잡음 특성에 맞도록 임의의 값을 선택할 수 있도록 구성되어 있다[3].

2.4 중간주파수 블록(IF Block)

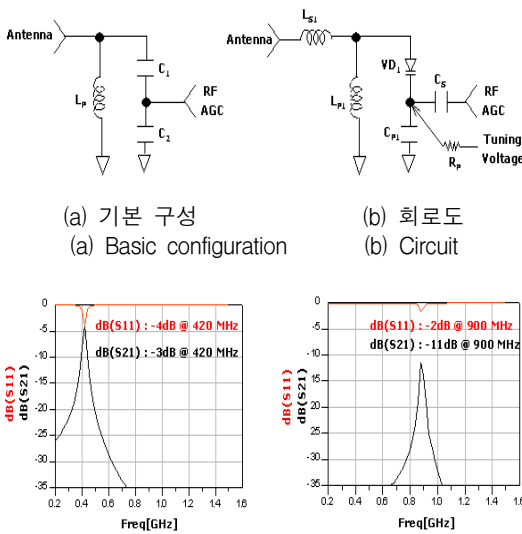
아날로그 방송 채널과 디지털 방송 채널이 동시에 방송되고 있는 환경에서는 아날로그 신호 인접 채널에 의한 디지털 지상파 수신기의 성능 저하를 막기 위한 SAW 필터와 RF 자동이득제어회로와 함께 넓은 범위를 갖는 입력 전력을 일정한 이득을 갖도록 제어하기 위하여 IF 자동이득제어 회로로 IF 블록을 구성하였다[4][5].

III. 디지털 지상파 모듈 설계

3.1 UHF 대역 설계

3.1.1 1차 트래킹 필터회로

안테나의 입력 임피던스 75Ω과 수십 KΩ의 높은 입력임피던스를 갖는 RF 자동이득제어회로와의 임피던스 정합과 안테나를 통해 입력된 많은 방송 신호들 중 원하는 하나의 채널만을 선택하기 위한 1차 동조 회로의 역할을 하며, 특히 잡음지수(NF)나 각종 방해 성능은 입력회로의 정합 여부나 선택도 특성에 많은 영향을 받는다. 그림 5는 모듈에서 적용한 트래킹 필터의 기본적인 등가회로 및 회로 구조를 나타낸 것으로 임피던스 정합을 위하여 C-Tapped 구조를 적용하였고 바랙터(Varactor) 다이오드와 병렬공진 회로를 구성하여 원하는 방송채널에 대한 선택도 및 입력 정제파비 특성을 만족하도록 설계해야 한다. 그림 5(c)와 (d)는 각 420MHz와 900 MHz에서 1차 트래킹 필터의 응답 특성을 나타내었다.

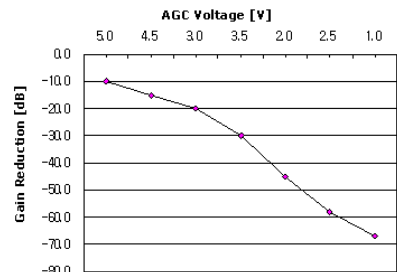
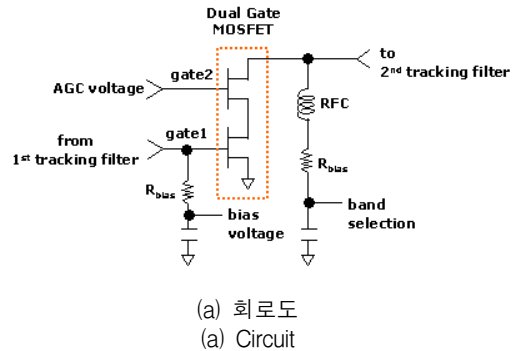


(c) 모의실험 결과 @420MHz
 (d) 모의실험 결과 @900MHz
 (c) Simulation result @420MHz
 (d) Simulation result @900MHz

그림 5. 1차 트래킹 필터 특성
 Fig. 5. 1st tracking filter.

3.1.2 RF 자동이득제어회로

안테나로 입력되는 미약한 신호를 복조할 수 있는 일정한 크기로 증폭하는 회로로 입력단의 정합 정도와 함께 수신기의 감도 및 신호대 잡음비(S/N)를 결정하는 중요한 부분이다. 그림 6 (a)처럼 이중 게이트(Dual Gate) MOSFET를 사용했으며 두 번째 게이트(gate 2)로 자동이득제어를 위한 제어전압 단자는 IF 블록의 자동제어회로와 연결되어 있어 안테나 입력 레벨에 따라 두 번째 게이트(gate 2)의 바이어스 전압을 변화시켜서 증폭도가 조절되며 제어 단자에 인가된 전압이 감소함에 따라서 이득이 저하되는 역(Reverse) 이득제어 방식으로 설계하였다[6]. 그림 6(b)은 자동이득제어회로의 이득 곡선을 나타내었다. 이득 감소량이 많다면 비트(Beat) 특성 등은 개선되지만 감도는 저하되는 반면 이득 감소량이 적어지면 비트(Beat) 특성이 나빠짐으로 인해서 수신기 성능이 저하되는 문제점을 나타내기 때문에 IF 자동제어회로의 이득 곡선을 고려하여 적절한 제어 전압을 결정해야 한다.

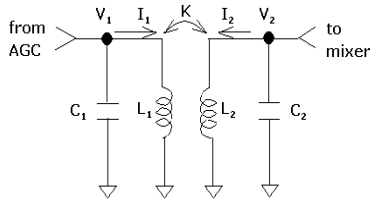


(b) 제어전압에 따른 AGC 곡선
 (b) AGC curve by control voltage

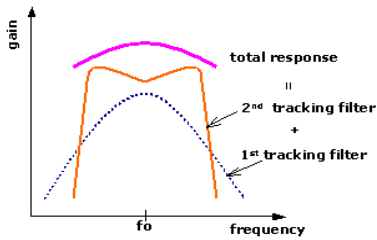
그림 6. RF 자동이득제어 회로
 Fig. 6. RF automatic gain control circuit.

3.1.3 2차 트래킹 필터회로

1차 트래킹 필터에서 1차 동조한 후 RF 자동이득 제어 회로에 의해 증폭된 신호는 충분한 선택도 특성을 갖고 있지 않으므로 원하지 않는 방송 채널에 대한 간섭 제거 특성을 만족시키지 못한다. 또한 1차 트래킹 필터 회로는 단동조(Single Resonant) 회로를 사용하기 때문에 주파수 특성이 평탄하지 않으므로 단일 방송 채널 내에서 진폭 편차로 인한 IF 평탄도 특성이 저하된다. 그림 7에 보듯이 1차 트래킹 필터의 문제점을 개선하여 충분한 방해 배제 능력을 확보하고 평탄한 진폭 특성을 얻기 위하여 복동조(Double Resonant) 회로로 2차 트래킹 필터회로를 구성하였다.



(a) 기본 구성
(a) Basic configuration



(b) 트래킹 필터회로들의 전체 주파수 응답
(b) Total frequency response by tracking filters

그림 7. 2차 트래킹 필터의 구성
Fig. 7. 2nd tracking filter configuration

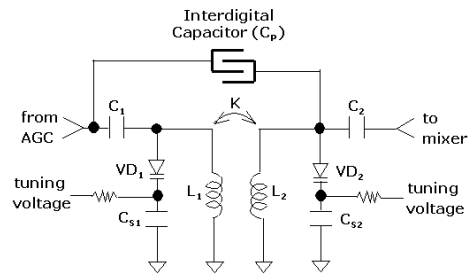
식 1은 2차측에 인가되는 전압은 LC 공진회로의 임피던스와 1차 측의 전류 그리고 커플링 계수(κ)에 영향을 받고 있음을 나타낸 것으로 커플링 정도에 따라서 복동조 회로의 주파수 특성이 바뀐다.

$$V_2 \approx \frac{kV_1}{sL_2} Z(s) \quad \text{식(1)}$$

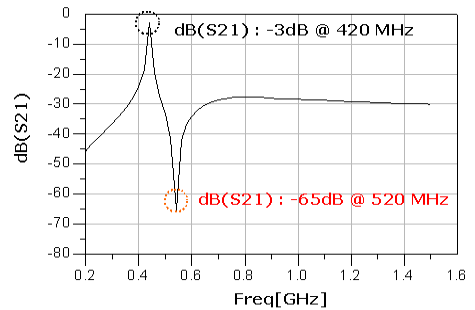
여기서, κ = Coupling factor

$Z(s)$ = Impedance of LC resonant circuit

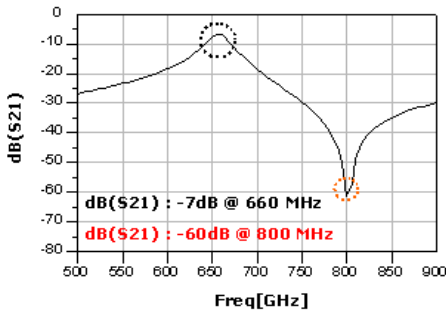
커플링 계수(κ)는 사용한 인덕터 코일의 구조, 코일 간의 간격, 코일 재질 및 주위의 차폐 특성에 따라서 커플링에 영향을 미치기 때문에 정확한 수식 및 설계 절차에 의한 설계에 어려움이 있다[7]. 그림 8은 설계한 2차 트래킹 필터의 회로 및 튜닝전압에 따른 주파수 특성을 나타내었다. 각지형(Interdigital) 커패시터 성분과 1차 및 2차 인덕터(L1, L2)에 의해서 직렬 공진을 형성하여 트랩 회로를 형성하여 영상신호 제거 특성을 만족하도록 하였다.



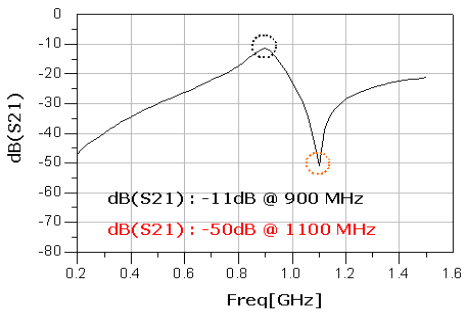
(a) 회로도
(a) Circuit



(b) 모의실험 @420MHz
(b) Simulation result @420MHz



(c) 모의실험 @660MHz
(c) Simulation result @660MHz



(d) 모의실험 @900MHz
(d) Simulation result @900MHz

그림 8. 2차 트래킹 필터 특성
Fig. 8. 2nd tracking filter performance

3.1.4 전압제어발진기 회로의 공진기(resonator) 및 루프필터(loop filter) 설계

전압제어발진기의 공진회로는 튜닝 범위(tuning range), 안정도(stability), 위상잡음(phase noise) 및 기생 발진(unwanted oscillation)과 같은 특성을 결정하는 중요한 부분이다. 특히 위상잡음 특성은 DVB-T와 같은 다중 캐리어 변조 방식의 시스템에서는 중요한 설계 변수로서 잡음지수, 영상잡음과 함께 수신기의 SNR 특성, 즉 BER(Bit Error Rate)을 결정한다[8]. 이러한 이유로 위상잡음 분석과 성능 예측을 위해서 식 (2)에 나타난 가장 고전적이고 널리 이용되는 Lesson 방정식을 이용하여 최적의 공진기 설계를 하였다[9].

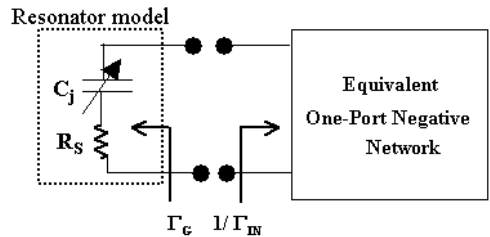
$$\mathcal{L}(f_m) = \frac{FKTB}{2P_{avs}} \left[\frac{1}{f_m^2} \frac{f_c^2}{4Q_L} + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f_c}{4Q_L} \right)^2 + \frac{f_c}{f_m} + 1 \right] \text{ (dBc/Hz)}$$

식 (2)

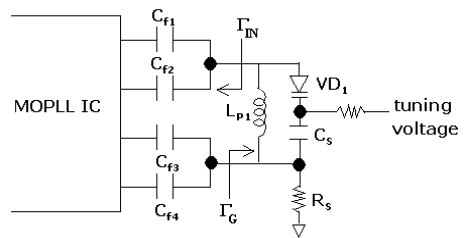
여기서, f_m 은 오프셋(offset) 주파수, f_c 는 차단 주파수, Q_L 은 부하시 공진기 Q 값을 나타내고 F 는 소자의 잡음 지수를 의미하고 K 는 볼츠만 상수, T 는 절대 온도를 나타내면 B 는 대역폭을 나타내고 있다.

그림 9(a)는 설계된 공진회로를 나타낸 것으로 전압제어발진기는 베이스와 컬렉터사이에 궤환 캐패시터를 사용하여 부정저항(negative resistance)을 생성한 후 그림 9(b)처럼 부정저항(Γ_N)과 공진회로(Γ_G)의 임피던스 정합을 통하여 구현하였다[10].

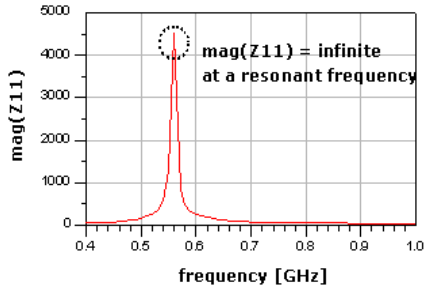
튜닝전압이 전압제어발진기의 주파수를 직접 변화시키므로 임의의 교류 신호가 튜닝 전압에 인가되면 주파수가 변조되어 스퓨리어스(spurious) 성분을 발생시킨다. 루프 필터의 적절한 대역폭 선택은 스퓨리어스 성분을 감쇠시킬 뿐 아니라 기준 신호와 전압제어 발진기의 위상 잡음 특성을 결정한다.



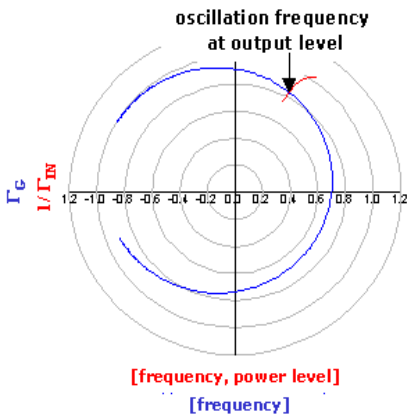
(a) 설계 개념
(a) Design concept



(b) 구성 회로도
(b) Circuit



(c) 공진기 특성 모의실험
(c) The simulation result of the resonator

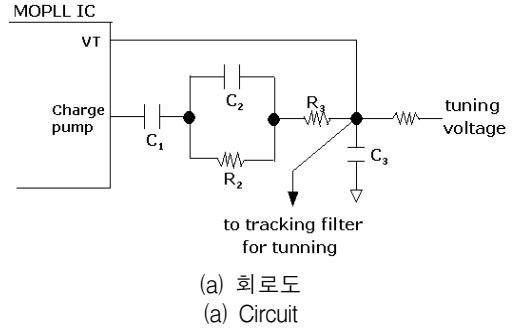


(d) 공진기와 부정저항의 정합 설계
(d) Matching design between resonator and negative resistance

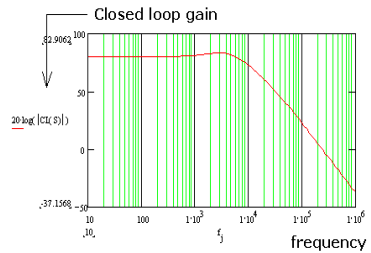
그림 9. 전압제어발진기의 공진회로
Fig. 9. The resonator of the VCO

주어진 대역폭에 대하여 높은 차수의 루프 필터를 사용하면 스푸리어스 억압 특성은 개선되지만 PLL 회로가 불안정해질 수 있으므로 루프 대역폭과 루프 필터의 소자값은 위상잡음 특성 및 스푸리어스 억압 특성을 고려해서 설계해야 한다[11].

그림 10은 3차 루프 필터와 주어진 설계 변수들을 사용해서 설계된 루프 필터 소자값과 루프 대역폭의 특성을 나타내었다.



(a) 회로도
(a) Circuit



(b) 루프 필터의 대역폭
(b) The bandwidth of the loop filter

그림 10. 루프 필터 설계
Fig. 10. Loop filter design

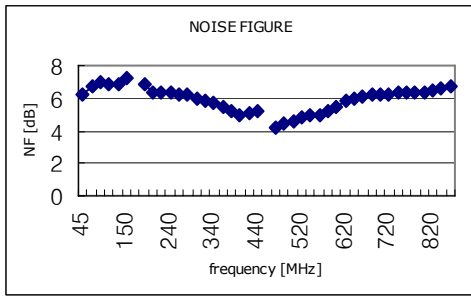
3.2 VHF LOW/HIGH 대역 설계

VHF 대역은 UHF 대역과 회로 구성적인 측면에서는 거의 동일한 구조로 설계하였다. 하지만 UHF 대역에 비해서 방송 주파수가 낮기 때문에 트래킹 회로 및 전압제어발진기의 공진 회로에 사용된 바랙터 (varactor) 다이오드의 가변 용량 범위가 넓은 소자를 선택해야 하며 코일 인덕터의 Q값이 증가하기 때문에 감쇠(damping) 저항을 사용하여 트래킹 범위, 영상신호 제거 및 간섭채널 억압 특성을 고려하여 설계한다.

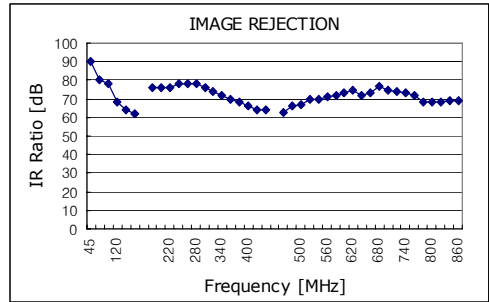
IV. 디지털 지상파 모듈의 성능측정

4.1 모듈의 전기적인 특성

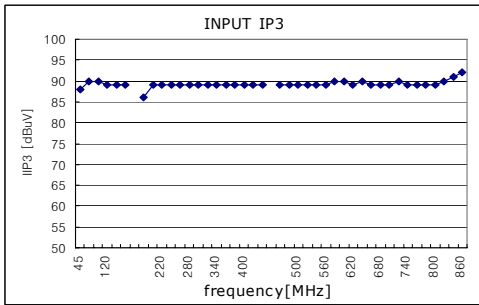
그림 11은 설계한 UHF 대역의 각 블록별 주파수 특성을 나타내었다. 그림 11(a)는 입력 필터 특성으로 중간 주파수 신호의 누설을 막기 위하여 IF 트랩 회



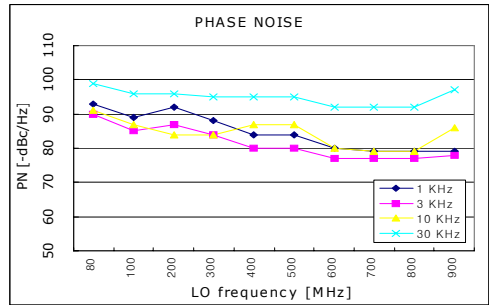
(a) 잡음지수
(a) Noise figure



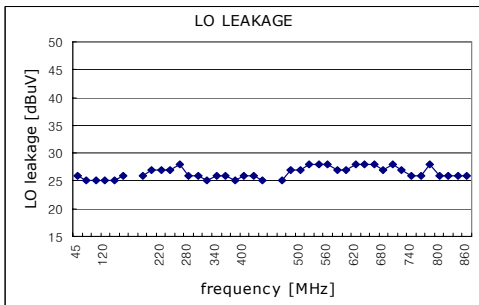
(b) 영상신호 제거
(b) Image signal Rejection



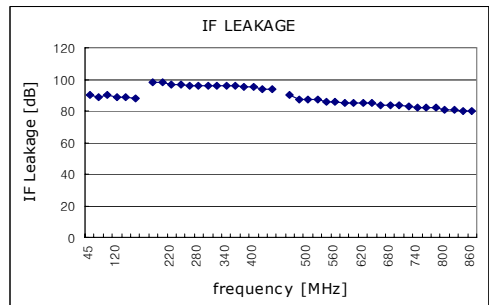
(c) 입력 IP3
(c) Input IP3



(d) 위상잡음
(d) Phase Noise



(e) 국부발진기의 누설 특성
(e) LO leakage



(f) IF의 누설 특성
(f) IF leakage

그림 12. 모듈의 주요 성능
Fig. 12. Main performance of the module

로와 광대역 방송 채널만 통과시키는 고역통과필터 특성을 갖고 있으며 그림 11(b)는 안테나 입력에서부터 RF 자동이득제어회로의 출력까지의 전달 특성을 나타내고 있으며 그림 11(c)와 (d)는 안테나 입력에서부터 2차 트래킹 필터 출력까지의 전달 특성으로 적절한 이득과 입력 반사계수 특성 그리고 영상신호 및

간섭신호 제거 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

그림 12는 설계된 모듈의 전기적인 특성을 나타내었다. 그림 12(a)는 잡음지수 특성을 나타낸 것으로 전체 방송 채널에서 6~7dB로 우수한 특성을 갖고 있으며 그림 12(b)는 영상신호 제거 특성을 나타낸 것으로 VHF_LOW 대역의 높은 채널을 제외하면 60dB

이상의 제거 특성은 갖고 있다. 그림 12(c)는 모듈의 선형성 특성을 나타낸 것으로 모든 방송 채널에서 85 dBuV 이상의 특성을 나타내고 있다. 그림 12(d)는 디지털 지상파 시스템에서 중요한 위상잡음 특성을 나타낸 것으로 모든 방송 채널에 대해서 1KHz, 3KHz, 10KHz 및 30KHz 옙셋 주파수에서 위상잡음 특성을 나타내었다. 그림 12(e)와 (f)는 각각 LO 신호의 누설 특성 및 중간주파수 신호의 누설 특성을 나타내었다.

표 1은 설계된 디지털 지상파 모듈의 전기적 특성을 요약 하였다.

표 1. 모듈의 전기적 특성
Table. 1. The electrical performance of the module

Item	Min	Max	Unit	REF[2]
Frequency	45 ~ 860		MHz	-
Noise Figure	4	7	dB	< 8dB
Image Rejection	-60	-90	dBc	> -70dBc
Phase Noise	-79	-93	dBc/Hz @ 1KHz	< -82dBc/Hz @ 10KHz
	-79	-90	dBc/Hz @ 10KHz	
Input IP3	85	93	dBuV	> -5dBm, P1dB
LO Leakage	-25	-28	dBuV	< -62dBm
IF Leakage	-80	-100	dB	-
IF flatness		< 2.5	dB	< 1.52dB

4.2 모듈의 디지털 지상파 수신 특성

그림 13과 같은 측정 환경을 구성하여 설계된 디지털 지상파 모듈의 감도, 아날로그 간섭 및 디지털 간섭 억압 특성과 같은 디지털 지상파 수신 특성을 측정하였다. 디지털 지상파 신호를 발생시키는 신호 발생기는 잡음원 뿐만 아니라 2K/8K 모드 및 다양한 변조 포맷을 지원하고 있다.

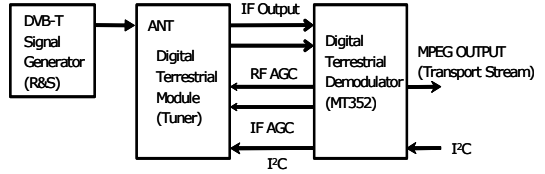
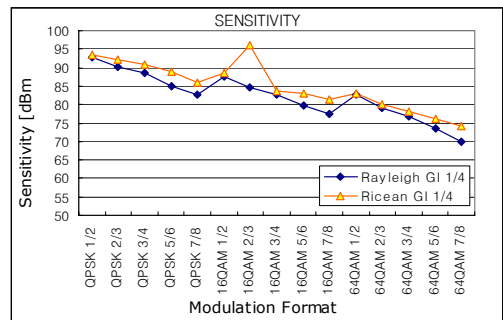


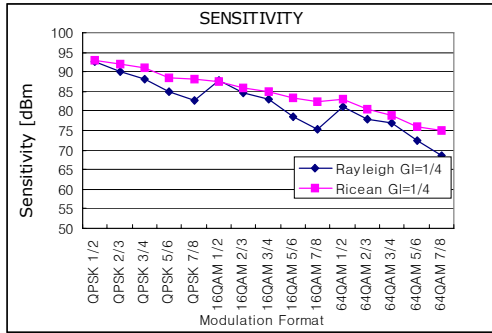
그림 13. 디지털 지상파 수신 측정 환경
Fig. 13. Measurement setup for digital terrestrial reception

그림 14는 신호 발생기에서 지원하는 Rayleigh 및 Ricean과 같은 다중경로 프로파일을 사용하고 2K/8K 모드, 변조방식, CR(Code Rate), GI(Guard Interval) = 1/4일 때 감도 특성을 나타내었다.

표 2는 설계된 모듈의 디지털 지상파 수신 특성을 요약한 것으로 Nordig 2 규격을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 간섭 채널에 의한 모듈의 성능 측정을 위해서 아날로그 신호에 의한 간섭 채널 제거 특성은 PAL B/G 아날로그 신호와 한 개의 채널(500MHz)에서 8K 모드, 64 QAM, GI=1/4, CR(code Rate)=2/3의 디지털 변조신호를 입력하여 N±1(adjacent), N±2(alternate) 채널에 대해서 측정하였고 디지털 신호에 의한 간섭 채널 제거 특성을 측정은 한 개의 채널(500MHz)에서 8K 모드, 64 QAM, GI=1/4의 디지털 변조신호를 입력하여 N±1(adjacent), N±2(alternate) 채널에 대하여 측정하였다.



(a) 2K 모드
(a) 2K mode



(b) 8K 모드
(b) 8K mode

그림 14. 감도 측정

Fig. 14. Sensitivity measurement

표 2. 모듈의 디지털 수신 성능

Table. 2. Digital reception performance of the module

Item	Value	Unit	Nordig Spec
Sensitivity	-84 (Rayleigh channel)	dBm	-
N±1 Adjacent Channel Rejection Ratio	Analog : -40 Digital : -35	dB dB	-35 -30
N±2 Alternate Channel Rejection Ratio	Analog : > 46 Digital : > 38	dB dB	-46 -40
Co-Channel Rejection	-3	dB	-

V. 결론

광대역(45MHz~860MHz)에 방송 채널들이 조밀하게 분포되어 있으며 아날로그 방송 채널과 디지털 방송 채널이 동시에 방송되는 채널 환경에서 동작하는 디지털 지상파 RF 모듈에 관한 것으로 두 방송 대역 간의 상호간섭 영향을 최소화시키고 통과대역내의 평탄도 및 우수한 위상잡음 특성과 높은 영상신호 제거 성능을 만족시키기 위하여 세 개의 대역으로 분할하는 단일변환(Single Conversion)방식으로 구현하였다. 디지털 수신 성능을 판단하기 위하여 복조 회로와 연결하여 국제 규격(Nordig-2)을 만족함을 확인하였다. 하지만 본 논문에서 제시한 단일변환 방식은 회로가

복잡하고 트래킹 필터와 전압제어발진기의 공진 특성을 일치시키기 위하여 조정 작업이 필요하기 때문에 생산성 및 소형화 측면에서는 단점을 가지고 있으므로 앞으로 이와 관련된 연구가 계속 되어야 한다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] Birleson.S, Esquivel. J, Nelsen. P, Nor-sworthy. J, Richter. K, "Silicon Single-Chip Television Tuner Technology," *ICCE. 2000 Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics*, pp. 38-39, June. 2000.
- [2] 정영준, 김재영, 최재익, 박재홍, "주파수 매핑 함수를 이용한 광대역 주파수 자동 채널 선택용 디지털 TV튜너," *한국통신학회논문지*, pp. 613-622, Vol. 25, No. 4B, April. 2000.
- [3] Zarlink Semiconductor, Data Sheet of SL2610, September 2003.
- [4] J. D.Mitchell and P. Sadot, "Development of a Digital Terrestrial Front-End," *IEE Conference Publication on International Broadcasting convention*, pp. 519-524, September. 1997.
- [5] Akio Yamamoto and Keizo Nishimura "Low Phase Noise and Low Intermodulation Analog Front-End for an OFDM System," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 44, Issue 3, pp. 1001-1011, Aug. 1998.
- [6] SIUTARO Nambu, Masahiro Hagio, "A Low-Noise Dual-Gate GaAs MESFET for UHF TV Tuner," *IEEE Journal of Solid-State circuits*, No. 4, Aug. 1982.
- [7] Dandan Li and YannisTsividis, "Design Techniques for Automatically Tuned Integrated Gigahertz-Range Active LC Filters," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, No. 8, Aug. 2002.
- [8] Muschallik, "Influence of RF oscillators on an OFDM signal," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 41, No. 3, pp. 602-603.
- [9] G.Vendelin, A.Pavio, U.Rohde, "Microwave

Circuit Design using Linear and Nonlinear Techniques," John Wiley and Sons, New York, pp. 385-491, 1992.

- [10] 고민호, 박효달, "이동통신단말기용 전압제어 발진기의 Q값 개선에 관한 연구," 한국통신학회추계종합학술발표, pp. 1198-1201, 1996.
- [11] Guan-Chyun Hsieh, James C. Hung, "Phase-Locked loop Techniques-A Survey," *IEEE Trans on Industrial Electronics*, Vol. 43, No. 6, Dec. 1996.



박효달(Hyo-Dal Park)

1978년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업

1987년 (불) 국립항공우주대학 전자공학과 박사

1992년~현재 : 인하대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 항공통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계 전자장 이론, 안테나공학

저자 소개



고민호(Min-Ho Go)

1995년 2월 여수대학교 전자통신공학과 졸업

1997년 2월 인하대학교 전자공학과 석사

2003년~현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 무선통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, RFIC설계, 안테나 설계



신현식(Hyun-Sik Shin)

1969년 2월 광운대학교 무선 통신공학과 졸업

1980년 2월 건국대학교 대학원 졸업 석사

1999년 2월 : 경남대학교 대학원 졸업 박사

1978년~현재 : 국립여수대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 정보통신, 데이터통신, 통신정책