

무선 마이크 송신기용 주파수 합성기에 관한 연구

서상원*, 광무성*, 조경준*, 김종현*, 이종철**, 이병제**, 김남영**

*광운대학교 전파공학과,

**RFIC 연구 및 교육센터, 미션 테크놀로지 연구소

A Study on the Frequency Synthesizer for Wireless Microphone Transmitter

S.W. Seo*, M.S. Kwak*, K.J. Cho*, J.H. Kim*, J.C. Lee**, B. Lee**, N.Y. Kim**

*Dept. of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University

**RFIC Research & Education Center, Mission Technology Research Center

ABSTRACT

본 논문에서는 PLL 주파수 합성기를 이용한 900 MHz 대역의 무선 마이크용 송신기를 설계 및 제작하였다. 위상잡음을 고려한 주파수 합성기는 VCO, Loop Filter 및 RF 증폭부로 구성된 후 HP EEsof ADS ver. 1.3을 이용하여 설계하였다. VCO는 구조가 간단하며 변조가 용이한 직접변조방식을 사용하였으며 Loop Filter는 주파수 합성기의 기준 고주파 성분을 낮추기 위해 수동 3차 필터를 사용하였다. 주파수 대역 928.125 MHz~929.875 MHz 내에서 채널간격 125 kHz를 갖으며 15개의 채널이 되도록 분주비를 설정한 주파수 합성기는 제작 결과, 송신기 출력 9.3 dBm과 위상잡음이 100 kHz에서 -113 dBc/Hz 이하의 위상잡음 특성을 나타내었고 불요주파수 특성은 -80 dBc 이하의 특성을 나타내었다.

I. 서론

PLL (Phase Locked Loop)을 이용한 간접방식의 주파수 합성기는 온도와 시간에 따라 출력 특성이 변하는 VCO에 주파수 오차를 추적할 수 있도록 페루프를 첨가해서 안정된 출력 주파수를 얻게 한 것으로 필요한 신호를 발생시킨다는 측면에서 매우 중요한 블록으로 다루어지고 있다. 최근에는 이동 통신 시스템뿐만 아니라 데이터 전송, 무선통신, 이동체 식별, 무선 LAN, 무선 마이크, 무선 조정, 안전시스템, 영상전송, 유도 신호용 등 특정 소출력 무선기기분야에서도 많이 응용되고 있으며 정보통신부에서는 용도에 따른 기술적 조건이 고시되어 있다. 이 중 무선 마이크는 700 MHz, 900 MHz 주파수 대역에서 공중선 전력 10 mW이하, 점유주파수 대역폭

250 kHz 이하, 스퓨리어스 발사 강도의 허용치는 40 dB 이하로 규정되어 있다. 송신기의 경우는 주파수 합성기의 출력 안정도 및 일정한 진폭 특성은 변조 신호의 왜곡 정도에 영향을 미치며, 수신기의 경우는 노이즈 특성이 수신감도에 영향을 미치므로 주의가 필요하다^[1].

무선 마이크 송신기는 음성 신호부, 변조부, 주파수 합성부, 고주파 증폭부 및 안테나로 구성된다. 변조부는 PLL내에 주파수 변조를 걸 수 있는 직접 변조 방식을 사용하여 구현이 용이하게 하였다. 또한 직접방식에 비해 출력이 높아 고주파 증폭부를 간소화 할 수 있으며 수평면내 무지향성의 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나를 사용하였다.

본 논문에서는 낮은 위상잡음과 변조 및 높은 주파수 해상도를 갖도록 VCO와 LPF의 특성에 중점을 두고 설계하였고 무선 마이크 시스템 930 MHz 대역에 적용하였다. 그림 1은 무선 마이크 송신기의 구성도이다.

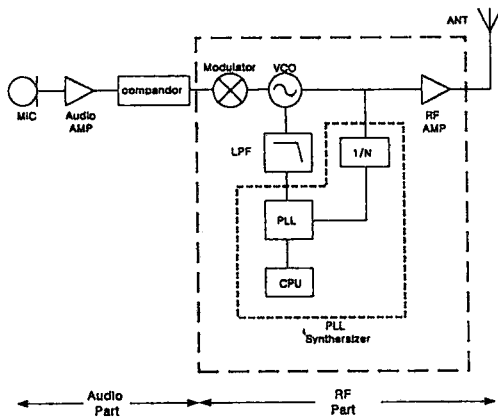


그림 1. 무선 마이크 송신기 구성도

II. PLL 주파수 합성기 기본 이론

그림 2는 기준 주파수 발생기, 위상검출기, 루프필터, VCO 및 주파수 분주기로 구성된 PLL 주파수 합성기의 구성도이다. 기본적인 동작은 VCO의 출력신호를 주파수 분주기를 통하여 분주한 다음 입력신호와 위상검출기에서 비교하여 두 위상차에 해당하는 전압을 발생시킨다. 기준 주파수를 위상 검출기에서 비교하여 두 신호가 동일한 주파수가 되도록 VCO의 전압을 조절한다. Loop Filter는 위상검출기에서 출력되는 DC이외의 리플(ripple) 성분을 제거하여 VCO가 안정한 출력주파수가 나오도록 한다. 따라서 이와 같은 과정을 반복하면서 VCO는 안정된 최종 출력을 갖게 된다.

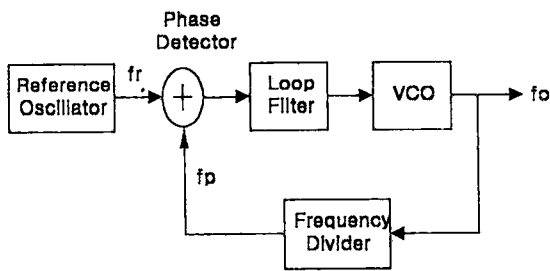


그림 2. 주파수 합성기의 구성도

위상검출기(Phase Detector)는 위상비교기와 전하펌프로 구성되며 위상비교기는 위상차에 비례하는 펄스폭을

갖는 신호를 출력하고 전하펌프는 위상비교기의 논리신호를 VCO를 조절하기 위한 아날로그 전류로 변환한다^{[2][3]}. PLL IC는 위상 검출기를 포함하여 여러종류의 카운터로 구성되는데 여기서 분주비를 계산하여 VCO의 채널별 주파수를 결정해 준다. 출력주파수는 다음과 같이 결정된다^{[4][5]}.

$$f_o = (N \cdot P + A) \cdot (f_r / R)$$

- 여기서 N : PLL 프로그래머블 카운터의 설정값
- P : 프리스케일러 분주비
- A : PLL 스텔로우 카운터의 설정값
- f_r : 기준 발진 주파수
- R : 레퍼런스 카운터의 설정값

III. 전압제어 발진기의 설계

그림 3은 본 논문에서 HP EEsof ADS ver.1.3을 이용하여 설계한 VCO 회로도이다. 공진부와 발진부로 구성된 VCO는 에미터 전류를 공동으로 사용하여 전류의 소모를 절반으로 줄였으며 일정한 출력을 갖으며 부하의 변화에 대한 발진주파수의 영향을 최소화하기 위해서 발진부의 트랜지스터를 비선형 모델을 가지고 설계하였다. 공진부와 발진부를 결합한 출력단에서는 입력반사 계수가 1보다 크고 중심주파수에서 부정저항을 가지며 허수 부분이 0이 되도록 하여 선형모델을 통한 발진 가능성을 확인하였고, 비선형 설계를 통하여 발진주파수, 출력 power, 고조파 억압, 위상잡음을 최적화 하였다. 그림 4와 그림 5는 각각 선형, 비선형 설계 결과를 나타낸다.

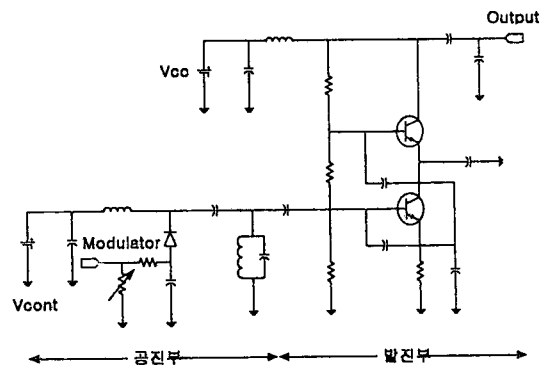


그림 3. VCO 회로도

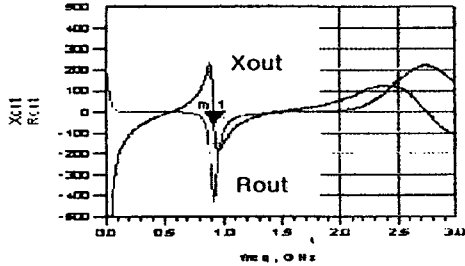


그림 4. VCO 선형 발진 결과

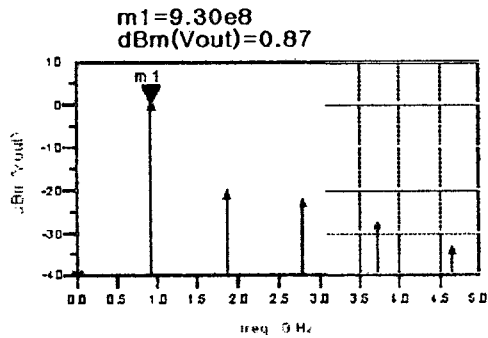


그림 5. VCO 비선형 설계 결과

IV. Loop Filter 설계

Loop Filter는 위상검출기의 출력전압에서 고주파성분의 제거하여, 평균직류전압을 VCO에 공급하며, 또한 PLL 동작특성을 결정하는 기본으로 루프의 동지 유지범위, 대역폭, 과도응답특성 등을 결정하는 요인이 된다.

Loop Filter의 종류에는 여러 종류의 필터가 있지만 그중에서 래그 필터나 래그-리드 필터를 사용할 경우 원하는 시정수가 커져서 PLL 모듈의 소형화에 적합하지 않고 S/N비가 저하되므로 본 논문에서는 Type II 3차 Loop Filter로 설계하였다. Open loop 대역폭 (ω_c), 위상마진 (ϕ_c), 채널간격에서의 감쇠(ATTEN)의 값을 설정하면 루프필터의 정수값을 설정할 수 있다^{[6][7][8]}. Open loop 대역폭 (ω_c)이란 open loop 대역이 1이 되는 지점을 의미하고, 위상마진은 open loop 대역폭에서

open loop 이득의 위상과 180°와의 위상차를 말한다. 그림 6은 본 논문에서 설계한 Loop Filter의 회로도이다. Loop Filter의 대역을 좁게 할 경우 위상잡음 특성을 개선할 수 있지만 Capture range 내에서 VCO의 입력전압이 변할 경우 전달응답이 늦어지고, 넓게 할 경우 비교 신호의 스푸어스가 커지는 등 PLL 동작특성이 영향을 받으므로 적절한 선택을 해야만 한다.

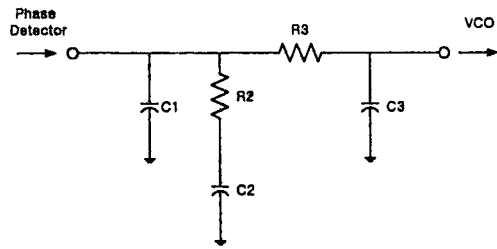


그림 6. 루프필터의 회로도

V. 제작 및 측정

본 논문에서는 유전율 4.5, 높이 1 mm인 FR4 기판을 이용하여 VCO와 주파수 합성기를 제작하였다. VCO의 공진부는 LC 공진기로 구성하고 바이어스(1V~4V)에 따라 Capacitance 용량값 15 pF ~ 8 pF를 갖는 Toshiba의 ISV270 바랙터다이오드를 사용하여 넓은 가변폭을 갖도록 구성하였다. 변조부는 FM 변조방식으로 가변 저항을 사용하여 변조를 용이하도록 하였다. 그림 7은 제작한 VCO의 주파수 전력 평탄도를 나타낸다. 20MHz의 가변폭을 나타내었으며 ± 0.15 dBm의 전력 평탄도를 나타내었다.

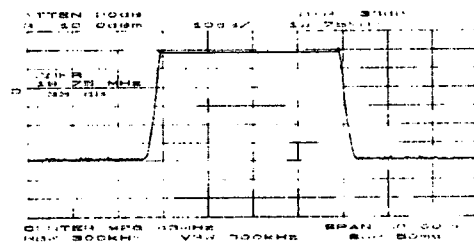


그림 7. VCO 주파수 범위와 power flatness

그림 8은 VCO의 위상잡음의 측정결과로 10 kHz offset에서 -97 dBc/Hz의 특성을 보였다.

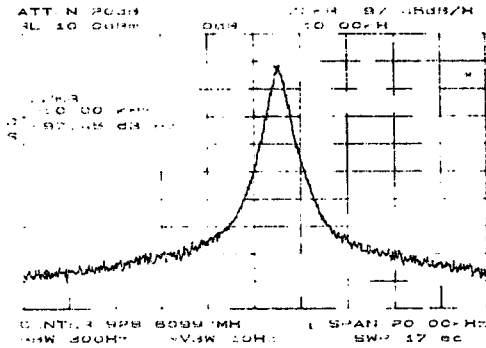


그림 8. VCO 10kHz offset에서의 위상잡음

주파수 합성기는 12.8 MHz의 수정 발진기를 기준 주파수로 사용하였고 사용주파수대역, 입력감도등을 고려하여 64/65의 2 Modulus prescaler와 Charge pump가 내장된 National Semiconductor사의 LMX1511 PLL IC를 이용하여 구성하였다. 그림 9는 PLL 주파수 합성기의 전체 회로도이다.

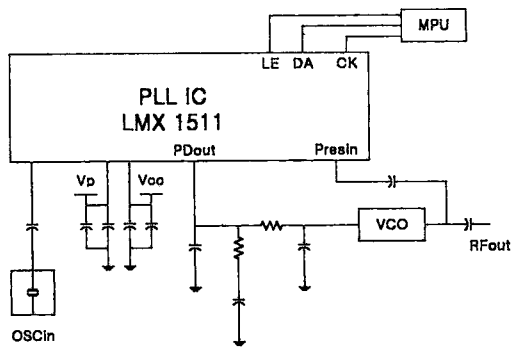


그림 9. 주파수 합성기 회로도

그림 10은 무선 마이크 송신단의 출력전력 9.33 dBm에서의 채널과 전력평탄도를 나타낸다.

그림 11은 무선 마이크 송신단에서 위상잡음을 측정 한 결과로 10 kHz offset에서 -99.6 dBc/Hz를 나타내었다. 또한 25 kHz offset에서는 -105 dBc/Hz와 100 kHz offset에서는 -113 dBc/Hz의 특성을 얻었다.

그림 12는 무선마이크 송신기의 변조특성을 나타내는 것으로 ± 20 kHz의 변조도를 보여준다.

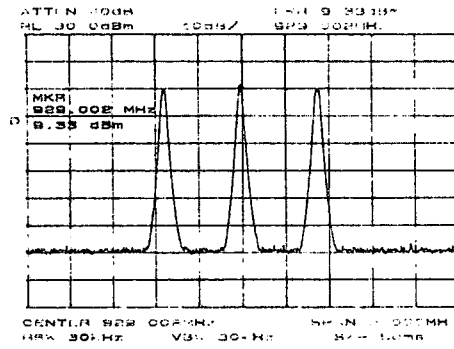


그림 10. 주파수 범위와 전력평탄도

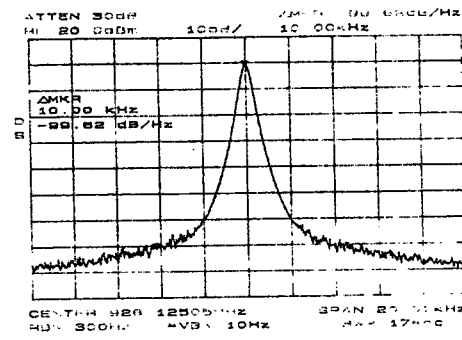


그림 11. 10 kHz offset에서의 위상잡음

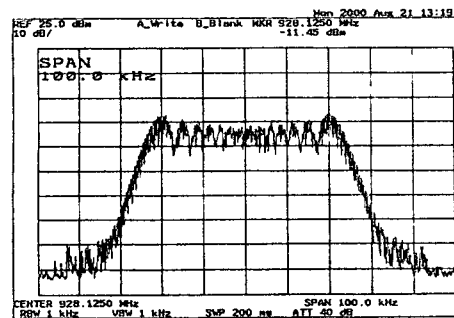


그림 12. 변조도 특성

그림 13과 그림 14는 각기 고조파 억압 특성과 불요복사 특성이다. 고조파 억압 특성은 -34dBc를 나타내었으며 불요복사 특성은 채널간격에 해당하는 125 kHz에서 -80dBc를 나타내었다.

