

Miller 커패시터를 이용한 넓은 가변 범위의 LC-tank 전압 제어 발진기

류지열, 류승탁, 정상화, 조규형  
대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Wide Tuning Range Varactor Diodeless LC-tank VCO

J.Y. Ryu, S.T. Ryu, S.H. Jung, G.H. Cho

Dent. of Electrical Engineering, KAIST, Taejeon. 305-701, Korea

**Abstract** - 넓은 가변 범위를 가지는 LC 탱크 전압 제어 발진기에 관해 본 논문에서 소개하고자 한다. LC 탱크 전압 제어 발진기의 발진을 소멸시키는 밀러 증폭기의 ESR을 제거함으로써 넓은 가변 범위를 얻을 수 있다. LC 탱크 전압 제어 발진기는 발진기 코어와 버퍼, 밴드갭(bandgap) 기준 전압 발생기 그리고 드라이브 증폭기로 구성되어 있다. 발진기 코어는 1.3mA의 전류를 소모하고 약 1GHz의 가변 범위를 가진다. 출력 주파수의 가변 범위내에 발진기의 출력 전력은 3dBm 이내로 변한다. 이러한 LC 탱크 전압 제어 발진기는 BiCMOS 공정을 이용하여 제작되었고 2.7V 단일 전원 에서 31.5mW의 전력을 소모한다.

1. 서 론

발진기는 통신 시스템에서 중요한 부분으로 주된 파라메타들은 출력 주파수의 가변 범위, 출력 전력 그리고 위상 잡음이다. 일반적으로 LC 탱크 전압 제어 발진기는 다른 형태들의 발진기에 비해 큰 Q(quality factor)로 인해 좋은 위상 잡음과 좁은 가변 범위를 가진다. 예를 들어 바랙터를 사용하는 LC 탱크 전압 제어 발진기는 대략 33%의 가변 범위를 가진다.[4] 임피던스 변환기를 이용하는 LC 탱크 전압 제어 발진기는 대략 30%의 가변 범위를 가진다.[2] 밀러 커패시터를 이용하는 LC 탱크 전압 제어 발진기는 대략 24%의 가변 범위를 가진다.[1], [3] LC 탱크 전압 제어 발진에 반해 릴렉세이션 발진기와 링 발진기는 넓은 가변 범위를 가지지만 GHz 주파수 범위에서 위상 잡음이 나쁘다는 단점이 있다.[5] 어떤 경우에는 넓은 가변 범위와 상대적으로 LC 탱크 전압 제어 발진기에 비해 나쁘지 않은 위상 잡음을 가지는 설계할 필요가 있는데 이러한 경우 LC 탱크 전압 제어 발진기를 이용하여 넓은 가변 범위를 얻는 것이 쉽지 않다. 이러한 예로 디지털 TV에 들어가는 발진기가 있고 980MHz에서 1742MHz까지의 넓은 가변 범위와 좋은 위상 잡음을 보장해야 한다. 아래에서 이러한 spec.을 만족하는 발진기의 설계에 대해 설명하겠다.

2. 본 론

2.1 회로 설계

그림 1에 보이는 LC 탱크 전압 제어 발진기는 발진기 코어와 버퍼, 밴드갭 기준 전압 발생기와 드라이브 증폭기로 구성되어 있다. 발진기는 외부 저항이 연결된 밴드갭 기준 전압 발생기에 의해 바이어스 되어 있고 출력 주파수는 외부 가변 전류원에 의해 조정되는 밀러 커패시터에 의해 조정된다. 인덕터는 자유 발진 주파수를 조정하기 위해 외부 소자를 사용하였으며 800MHz에서 대략 54의 Q 값을 가진다. 버퍼를 통과한 신호는 드라이브 증폭기를 통해 외부의 50Ω 저항을 구동한다. 일반적으로 바랙터를 이용하는 발진기는 주파수 가변 범위가 바랙터의 가변 한계에 의해 제한이 되지만 밀러 커패시터

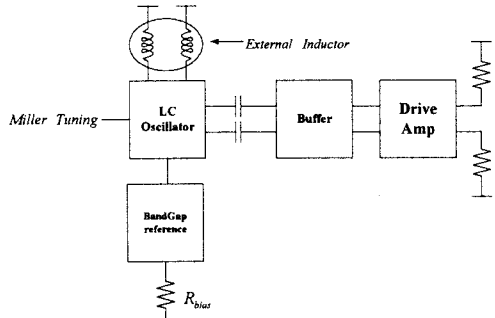


그림 1. LC 탱크 발진기

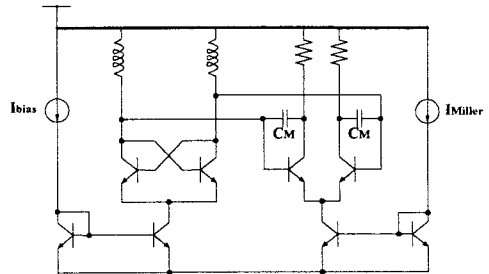


그림 2. 밀러 커패시터를 이용한 LC 탱크발진기

를 이용하는 발진기는 밀러 증폭기의 입력 트랜스 컨덕턴스의 증가로 인한 Q의 감소로 인해 제한된다. 따라서 넓은 가변 범위를 얻기 위해서는 Q값의 감소를 보상하는 회로가 필요하게 된다. 일반적인 밀러 커패시터를 이용한 발진기가 그림 2에 도시되어 있다. 발진기는  $I_{bias}$  라는 정전류원에 의해 바이어스되어 있고 출력 주파수는 밀러 증폭기의 꼬리 전류원을 가변 함으로써 변한다. 이때 출력 발진 주파수는 다음과 같이 주어진다.

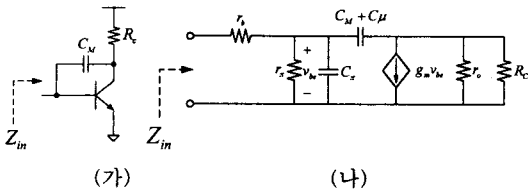
$$f_{osc} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot (1 + g_m R_C) C_M}} \quad (1)$$

앞서 말한바와 같이 Q값의 감소는 밀러 증폭기의 입력 트랜스 컨덕턴스와 부하 저항으로 인한 것이다. 간단히 밀러 증폭기의 입력 임피던스를 구하기 위해  $r_b, C_x, C_u$  와 Early 효과는 무시하면 다음과 같다.

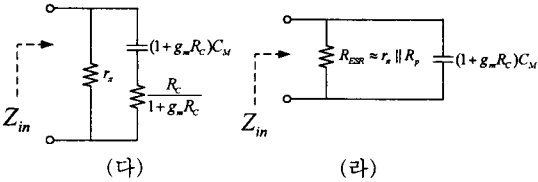
$$Z_{in} = r_x \parallel \left( \frac{R_C}{1 + g_m R_C} + \frac{1}{s C_M (1 + g_m R_C)} \right) \quad (2)$$

$C_M$ 은 밀러 커패시터이고  $R_C$ 는 밀러 증폭기의 부하저항이다.

식(2)에서 밀러 증폭기의 부하저항  $R_C$ 는 밀러 커패시터  $(1 + g_m R_C) C_M$ 의 ESR로 바뀌는 것을 알 수 있다. 따라서 밀러 커패시터의 Q값은 밀러 증폭기의 입력 트랜스



(가) (나)



(다) (라)

그림 3. 밀러 증폭기의 입력 임피던스

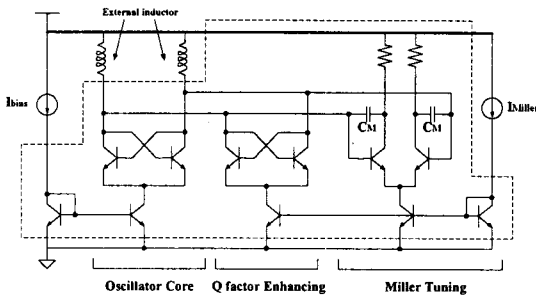


그림 4. 제안된 LC 탱크 발진기 회로

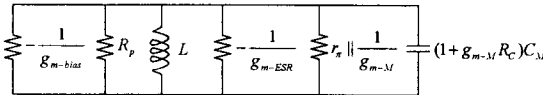


그림 5. 제안된 LC 탱크 발진기의 등가 회로

컨덕턴스의 함수로 다음과 같이 주어진다.

$$Q_c = \frac{\sqrt{\frac{L}{(1+g_m R_c)C_M}} \cdot \frac{1+g_m R_c}{R_c}}{\sqrt{\frac{L}{C_M} \cdot R_c}} \approx \sqrt{\frac{L \cdot g_m}{C_M \cdot R_c}} \quad (3)$$

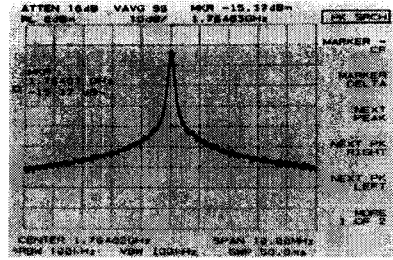
$$R_p = \frac{R_c}{1+g_m R_c} + \frac{L}{C_M R_c} \quad (4)$$

식(3)으로부터 밀러 증폭기의 꼬리 전류가 증가할수록 밀러 커패시터의 Q가 증가하지만 등가 병렬 저항은 감소하여 전체적인 Q는 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 Q의 감소가 출력 전력의 감소와 더불어 발진을 사라지게 한다.

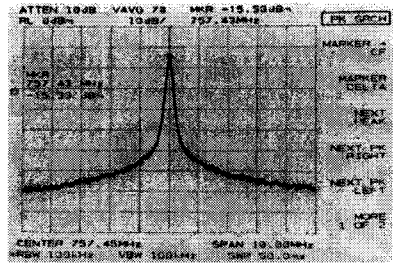
등가 병렬 저항  $R_p$ 는 두 가지 성분; 고정된 저항과 가변 저항으로 구성되어 있다. 고정 저항  $L/(C_M R_c)$ 은 가변 저항  $R_c/(1+g_m R_c)$ 에 비해 작다. 가변 꼬리 전류가 작을 때는 손실 저항은 밀러 커패시터의 병렬 등가 저항  $R_p$ 와  $r_\pi$ 의 병렬에 의해 결정된다. 따라서 LC 탱크 발진기는 발진하기 충분한 Q값을 가지고 출력 전력도 거의 변하지 않는다. 그러나 가변 전류가 증가함에 따라 손실 저항이  $R_p$ 에 의해 정해지고 출력 전력이 감소하게 된다. 가변 전류가 크면 전체 등가 저항이 거의  $1/g_m$ 이 된다.

$$R_{ESR} = r_\pi \parallel \left( \frac{R_c}{1+g_m R_c} + \frac{L}{C_M R_c} \right) \approx \frac{1}{g_m} \quad (5)$$

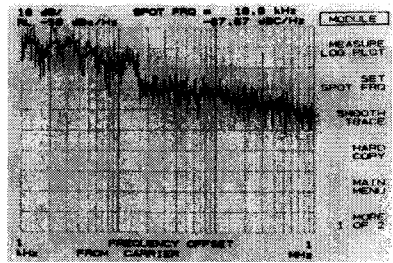
따라서 일정한 출력 전력과 발진을 얻기 위해서 LC 탱크 발진기는 다음과 같이 설계가 되어야 한다.



(가) fosc=1.76GHz



(나) fosc=760MHz



(다) 개루프 발진기의 위상 잡음

그림 6. LC 탱크 발진기의 실험 결과

$$g_{m-bias} = \frac{1}{R_p} \quad (6)$$

$$g_{m-ESR} \cong \frac{1}{(r_\pi \parallel \frac{1}{g_{m-M}})} \approx g_{m-M} \quad (7)$$

식(6)은 발진 조건이고 식(7)은 등가 손실 저항을 제거하여 발진을 유지하기 위한 조건이다. 등가 손실 저항을 제거하기 위한 주파수를 가변하기 위한 밀러 증폭기의 꼬리 전류원과 동시에 같이 변하는 꼬리 전류원을 가진 차동쌍으로 얻을 수 있다.

Q값을 보상하는 회로가 첨가된 전체 LC 탱크 발진기의 회로도도 그림 4에 도시되어 있다. Q 보상 회로의 꼬리 전류는 같은 트랜스 컨덕턴스를 얻기 위해 밀러 증폭기와 꼬리 전류원에 쓰인 트랜지스터와 같은 크기를 사용하였다.

## 2.2 실험 결과

LC 탱크 발진기는 HP8560E 스펙트럼 분석기로 측정하였다. 그림 6-(가)는 가변 전류가 0일 때 자유 발진 주파수를 측정된 그림이다. 그림 6-(가)는 가변 전류가 6.2mA일 때 최소의 발진 주파수를 측정된 그림이다. DTV에서 필요한 주파수 가변 범위를 얻기 위해서는 0에서 4.6mA의 가변 전류가 필요하다. 이 발진기는 다른 발진기에 비해 큰 대략 57%의 가변 범위를 가진다. 그림 6-(다)는 발진기의 위상 잡음을 측정된 그림이다. 100kHz 주파수 오프셋에서 -82dBc의 위상 잡음을 보인

다. 전체 측정 결과를 표 1에 정리하였다. 그림 7은 제작된 LC 탱크 발진기의 칩 사진이다.

### 3. 결 론

본 논문에서 LC 탱크 발진기의 출력 전력을 감소시키고 결국 발진을 소멸시키는 밀러 증폭기의 손실 저항을 찾았다. 이러한 손실 저항을 제거하기 위하여 LC 탱크 발진기의 Q값을 증가시키는 회로를 첨가하였다. Q 보상 회로가 첨가된 전체 LC 탱크 발진기는 대략 1GHz의 가변 범위를 가지며 그 범위에서 출력 전력이 3dBm 이내로 변하였다. 주파수 가변 범위는 다른 발진기에 비해 큰 57%의 가변 범위를 보인다. 이러한 발진기는 넓은 가변 범위와 일정한 출력 전력 그리고 좋은 위상 잡음을 원하는 DTV에 적합하다고 할 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] K. Stadius, R. Kaunisto, V. Porra, "Varactor diodeless harmonic VCOs for GHz-range applications", IEEE Proc. of ICECS 99, vol 1, pp. 505~508, 1999
- [2] W-Z Chen, J-T Wu, "A 2-V 2-GHz BJT Variable Frequency Oscillator", IEEE JSSC, vol 33, No 9, pp 1406-1410, Sep. 1998
- [3] K. Stadius, R. Kaunisto, V. Porra, "A High Frequency Harmonic VCO with an Artificial Varactor", IEEE Proc. of ICECS 98, vol 3, pp. 161~164, 1998
- [4] K. Kamogawa, K. Nishigawa, C. Yamaguchi, M. Hirano, I. Toyoda, T. Tokumitsu, "Wide-tuning Range Si-bipolar VCOs Based on Three-dimensional MMIC Technology", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol 45, No 12, pp 2436-2443, Dec. 1997

표1. LC 탱크 발진기의 측정 결과

Supply voltage	single 2.7V
Total bias current	15mA
(core current)	1.3mA
Total power consumption	31.5mW
Tuning range	750MHz ~ 1.76GHz (57%)
Output power variation	< 3dBm
Core size	300um x 150um

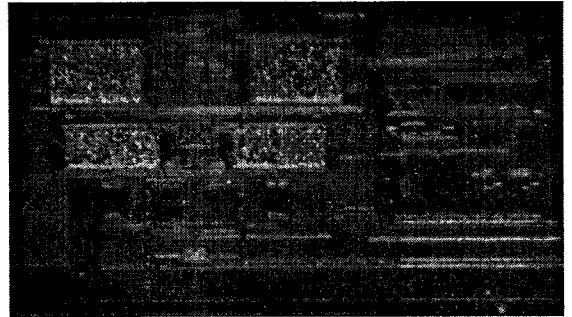


그림 7. LC 탱크 발진기의 칩 사진