

멀티 옥타브 초광대역 주파수 합성기 설계

°신금식, 구본산, 이문규
 서울 시립 대학교 전자전기컴퓨터공학부

A Design of Multi-Octave Ultra Wideband Frequency Synthesizer

°Geum-Sik Shin, Bon-San Koo, and Moon-Que Lee
 Dept. of Electrical and Computer Eng., University of Seoul

요약문

본 논문에서는 S/C-밴드(2~8GHz)에서 동작하는 초광대역 주파수 합성기를 설계하였다. 먼저 S-밴드(2~4 GHz) 광대역 전압제어발진기를 가지고 획득시간을 단축하기 위한 연산 증폭기를 사용한 DA변환기와 능동 루프 필터(Active Loop Filter)로 구성된 S-밴드 주파수 합성기를 설계하였다. 그리고 주파수 체배기, SPDT RF 스위치를 통합하여 최종적으로 S/C-밴드 초광대역 주파수 합성기를 설계하였다. 제작된 주파수 합성기는 200kHz 비교주파수에서 위상잡음은 100kHz 오프셋 주파수에서 -92dBc/Hz이하, 불요주파수 특성은 -62.33dBc 이하, 획득시간은 1.3ms 이하로 측정되었다.

1. 서론

초광대역 주파수 합성기는 넓은 범위의 주파수 튜닝을 필요로 하는 레이더 시스템이나 통신 시스템, 제측 장비 등에 사용할 수 있다.

본 논문에서는 위상 동기 루프(PLL : Phase Locked Loop)를 갖는 간접 주파수 합성 방식을 이용하여 광대역을 가지면서 비교적 간단한 주파수 합성기를 설계하였다.

주파수 합성기의 구성 요소에는 PLL IC, 분주기, 전압제어 발진기(VCO), 루프 필터가 있다. 이 중에서 가장 핵심이 되는 요소는 전압 제어 발진기로 광대역을 커버할 수 있는 발진 대역을 갖도록 설계하는 것이 중요하다. 그리고 루프 필터는 전압제어발진기에 제어 전압을 공급하면서, 주파수 합성기의 주요 성능 평가 요소인 위상 잡음, 획득 시간, 불요 신호 특성을 가장 많이 좌우하는 요소이다.

본 논문에서는 S-밴드(2~4 GHz) 광대역 전압제어 발진기를 가지고 획득시간을 단축하기 위해 연산 증폭기를 사용한 DA변환기와 능동 루프 필터(Active Loop Filter)를 사용한 S밴드 주파수 합성기를 설계하였다. 그리고 S밴드 주파수 합성기와 SPDT 스위치, 체배기를 통합하여 최종적으로 S/C-밴드 초광대역 주파수 합성기를 설계하였다.

2. 본론

2.1 S-밴드 전압제어 발진기 설계

일반적으로 옥타브 밴드이상의 초광대역을 갖는 전압 제어발진기의 설계에 있어서 고려해야할 문제는 옥타브 대역 이상에서 발진 조건을 만족시키기 위한 정제환 구조와 주파수 대역과 반비례 관계로 알려진 위상 잡음 성능의 개선, 그리고 주파수 동기에서 필요로 하는 제어 전압대 발진주파수의 선형성을 최적화 하는 것이다¹⁾. 이러한 설계시 주의 사항을 고려하여 본 논문에서는 그림 1과 같은 구조를 사용하였다.

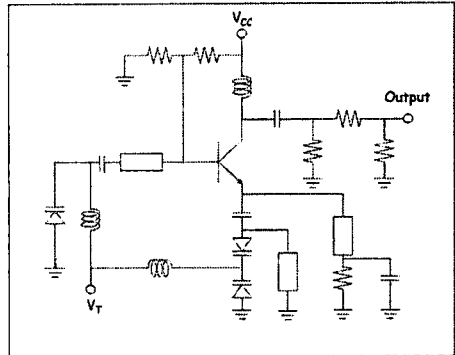


그림 1. S 밴드 전압제어발진기 구조

그림 1.과 같은 구조로 S-밴드 전압제어발진기를 유전율 4.5, 탄젠트 손실 0.02인 FR4기판에 제작하였다. 회로의 크기는 12.7mm X 12.7mm X 0.8mm이고, 공급 전력은 5V, 15mA이다.

발진 주파수는 0~20V에서 2181 ~ 3985MHz이고, 출력 전력은 4 ~ 8.33dBm의 값을 가지며, 위상 잡음은 10kHz 오프셋에서 가장 높은 경우, -84dBc/Hz의 값을 얻었다.

2.2 S-밴드 주파수 합성기 설계

다음으로, S 밴드 주파수 합성기를 구현하기 위해 상용 PLL IC인 National Semiconductor사의 LMX2326을 사용하였다. LMX2326은 입력 주파수를 3GHz이하의 신호로 제한을 하기 때문에, S 밴드 전압 제어발진기에 주파수 분주기를 이용하여 L 밴드 신호로 낮추어 PLL IC의 입력으로 사용하였다..

2.2.1 능동 루프 필터 설계

옥타브 밴드를 갖는 광대역 전압제어발진기를 설계하기 위해서는 0 ~ 20V의 제어전압이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 연산 증폭기를 갖는 능동 루프 필터를 설계하였고, 그 구조를 그림 2에 제시하였다.

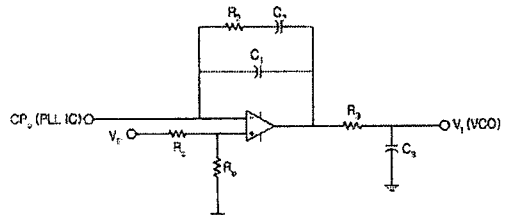


그림 2. 능동 루프 필터 구조

그림 2의 구조는 회로 구현이 비교적 간단하고, PLL IC의 전원 전압의 반을 연산 증폭기의 바이어스 전압으로 사용할 수 있게 함으로써, 차지 펌프(Charge Pump)가 보다 잘 정합되고 불요 신호의 크기가 더 낮은 이점을 가지고 있다^[2].

2.2.2 DA 변환기 설계

연산 증폭기를 이용하여 4비트 DA 변환기를 설계하였다. 4비트 DA 변환기는 16단계로 전압을 제어할 수 있으며, 각 비트의 기준 전압을 5V로 하면 1.25V 단위로 1.25~20V 까지 제어가 가능하다^{[3][4]}.

그리고 전압제어발진기의 제어 전압이 0~20V 이므로 제어 전압의 반을 오프셋 전압으로 사용하였다. 그림 3은 설계한 DA 변환기의 회로도이다.

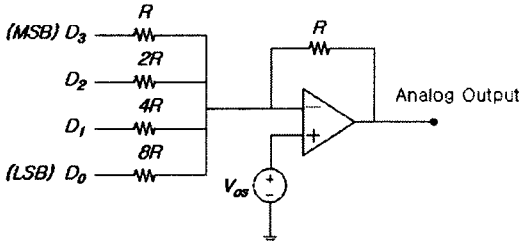


그림 3. DA 변환기의 회로도

2.3 S/C-밴드 주파수 합성기 설계

제작된 S-밴드 주파수 합성기를 주파수 체배기, SPDT스위치를 결합하여 최종적으로 S/C-밴드 주파수 합성기를 제작하였다. 그림 4는 전체 회로의 블록도를 나타낸다.

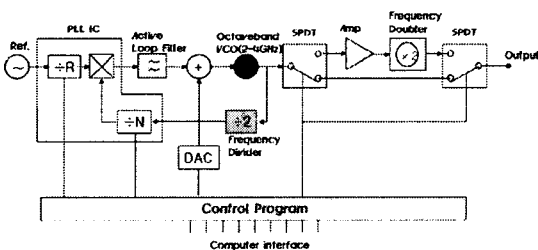


그림 4. S/C-밴드 주파수 합성기 블록도

2.4 주파수 합성기 제어 프로그램

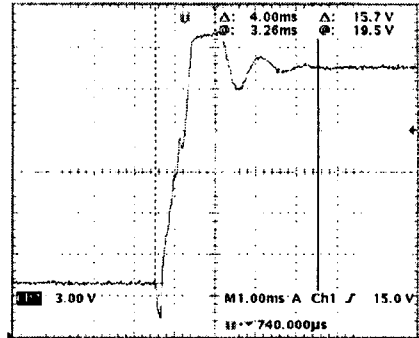
주파수 합성기를 제어하는 프로그램은 C-언어를 사용하여 컴퓨터의 프린터 포트를 통해 크게 PLL IC 제어부, DA 변환기 제어부, 그리고 스위치 제어부로 자체 작성한 프로그램을 사용하였다. 작성한 프로그램은 PLL IC 제어에 3비트, DA 변환기 제어에 4비트, 스위치 제어에 2비트 총 9비트를 사용하였다. DA 변환기의 출력값은 정확한 제어를 위해 측정된 전압제어 발진기의 제어전압 대 출력 주파수 값을 미리 입력하여 사용하였다. 원하는 전압제어 발진기의 주파수를 입력하면 프로그램에서 미리 입력된 주파수와 비교하여 먼저 SPDT 스위치의 ON/OFF를 결정하고, 대략적인 튜닝을 위한 DA 변환기의 출력값을 결정하여 PLL IC에서 미세 튜닝을 제어한다.

2.5 측정결과

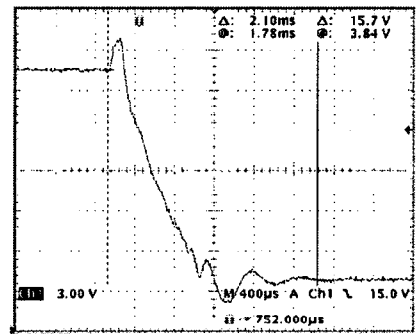
지금까지 설계한 S/C 밴드 주파수 합성기의 획득시간을 오실로스코프를 이용하여 전압제어 발진기의 제어전

압 변화로 측정하였다.

그림 5는 DA 변환기를 사용하지 않고 능동 루프필터만 사용한 회로의 획득시간을 나타낸다. (a)는 2.3GHz에서 7.9GHz로 주파수가 변할 때, 획득시간이 3.26ms 임을 보이고, (b)는 7.9GHz에서 2.3GHz로 주파수가 변할 때, 획득시간이 1.78ms 임을 보인다.



a) 2.3 GHz → 7.9 GHz 이동시

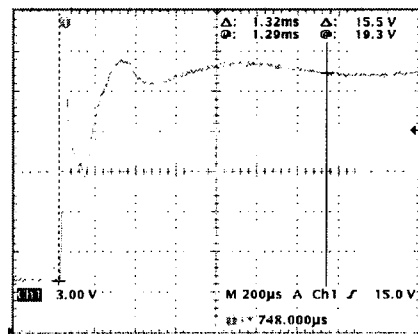


b) 7.9 GHz → 2.3 GHz 이동시

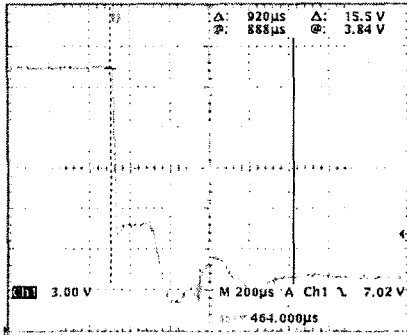
그림 5. 능동 루프 필터만 사용시 획득 시간

그림 6은 DA 변환기를 사용하였을 때의 획득시간을 나타낸다. (a)는 2.3GHz에서 7.9GHz로 주파수가 변할 때, 획득시간이 1.29ms 임을 보이고, (b)는 7.9GHz에서 2.3GHz로 주파수가 변할 때, 획득시간이 0.929ms 임을 보인다.

DA 변환기를 사용하였을 때의 획득시간이 DA 변환기를 사용하지 않았을 때의 획득시간보다 50%정도 개선됨을 알 수 있다.



a) 2.3 GHz → 7.9 GHz 이동시



b) 7.9GHz → 2.3 GHz 이동시
그림.6. DA 변환기 사용시 획득 시간

위상 잡음 특성은 2.3GHz, 3GHz, 7.9GHz의 세 경우에 대해, 100kHz 오프셋에서 측정하였고, 각각 -103dBc/Hz, -92dBc/Hz, -105dBc/Hz의 값을 나타내었다.

측정 결과를 표1에 정리하여 놓았다.

표 1. 측정 결과

항 목	측 정 값
주파수 범위[MHz]	2300 ~ 3950 4600 ~ 7900
출력 전력[dBm]	12 ~ 7
위상 잡음 [dBc/Hz@100kHz offset, typ]	< 92
불요 주파수 특성[dBc] (200kHz 비교 주파수)	< 62.33
획득 시간[ms]	< 1.3

3. 결 론

본 논문에서는 S 밴드(2-4GHz)에서 옥타브 대역을 갖는 전압제어발진기를 가지고 DA 변환기를 포함하는 능동 루프 필터를 사용한 S밴드 주파수 합성기를 만들고 스위치와 주파수 체배기를 결합하여 최종적으로 S/C 밴드(2-8GHz) PLL 주파수 합성기를 제작하고, 그 결과를 측정하였다.

제작한 PLL 주파수 합성기는 2300-3950MHz와 4600-7900MHz의 범위를 갖고, 출력 전력은 -12 ~ 7dBm의 출력값을 가지며, 비교주파수가 200 kHz 일 때 1.3ms의 획득시간을 가진다. 위상 잡음 특성은 100kHz 오프셋에서 -92dBc/Hz 이하의 특성을 얻었다.

제작한 초광대역 S/C-밴드 주파수 합성기는 전파감시용, 넓은 주파수 튜닝을 필요로 하는 계측장비 및 광대역 수신기에 적용하여 사용될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 구분산, 이문규, 신갑식, "옥타브 밴드를 갖는 set top TV tuner용 광대역 전압제어발진기 설계," 춘계 전자파 학술 대회 논문집, 제26권, 제1호, pp.331-334, 5월, 2003.
- [2] Dean Banerjee, "PLL Performance, Simulation, and Design," National Semiconductor, pp.96, 1998.
- [3] 유종원, 변우진, 명노훈 "PLL을 이용한 주파수합성기의 정확한 주파수변조와 빠른 주파수 획득을 위한 연구", 종합학술 발표회 한국전자파학회, 12월, 1994

- [4] 이현석, 손종원, 유홍균, "디지털 하이브리드 위상고정루프(DH PLL) 주파수 합성기의 위상잡음 분석," 한국전자파학회논문지, 제13권, 제7호, pp. 649-656, 8월, 2002년