

논문 2012-49TC-1-12

소형화된 Ka 대역 밀리미터파 탐색기용 초고속 주파수합성기

(A Compacted Ultra-fast Ka-band Frequency Synthesizer for
Millimeter Wave Seeker)

임 주 현*, 양 승 식*, 송 성 찬*

(Ju-Hyun Lim, Seong-Sik Yang, and Sung-Chan Song)

요 약

본 논문은 Ka 대역 밀리미터파 탐색기용 주파수합성기 제작에 대한 논문이다. 높은 주파수 해상도와 빠른 천이 응답 시간을 위해 DDS(Direct Digital Synthesizer)를 이용한 디지털 합성방식으로 설계하였다. 하지만 DDS의 주파수합성 대역은 시스템 클럭의 1/2정도로 제한되기 때문에 주파수합성 범위가 저주파대역으로 제한되는 단점을 가지고 있다. 그래서 주파수 4배배기와 국부신호를 사용하여 Ka 대역으로 상향 변환하였다. 제안된 주파수합성기는 대역폭 500MHz, 주파수 스위칭 시간은 0.7 μ s 이하, 불요파 특성 -52dBc 이하, 위상잡음 특성은 오프셋 100kHz에서 -99dBc/Hz, 평탄도는 ± 1 dB 이하로 측정되었다.

Abstract

In this paper, we implemented a Ka-band frequency synthesizer for millimeter wave seeker. we designed for high frequency resolution and frequency hopping response time in the digital synthesis method which uses DDS(Direct Digital Synthesizer). but frequency bandwidth was limited low frequency because DDS output frequency was limited 1/2 by system clock. thus, frequency synthesizer was converted to Ka-band using the frequency multiplier $\times 4$ and local oscillator. proposed frequency synthesizer was bandwidth 500MHz, frequency switching time was 0.7 μ s, spurious level was suppressed below -52dBc. phase noise was -99dBc/Hz at offset 100kHz and flatness was ± 1 dB

Keywords : Phase noise, Switching time, DDS, PLL, spurious

I. 서 론

밀리미터파란 자유 공간에서 주파수가 30GHz 이상 300GHz 이하의 범위로, 밀리미터(mm) 단위의 파장을 갖는 전자기파를 의미한다. 밀리미터파 대역은 전통적으로 군사용으로 주파수가 할당되어 12~45 GHz 대역의 군사용 위상통신 3~95GHz 대역의 차량 탑재 군사용 레이더, 전자전 무기 미사일 추적장치 등이 연구되어 왔다.

이런 밀리미터파를 사용하는 레이더의 큰 장점은 표적의 형상까지도 구분할 수 있는 고분해능, 각도 정확도와 작은 속도 변화도 감지할 수 있는 속도 정확도를 들 수 있으며, 또한 파장이 마이크로파에 비해 작기 때문에 소형 레이더를 구현할 수 있다는데 있다. 반면에 주파수가 올라감에 따라 전력이나 잡음 특성이 떨어지기 때문에 감지 거리가 짧아지는 경향이 있다.^[1]

밀리미터파의 이런 특징 때문에 본 논문에서 제작하고자 하는 탐색기용 주파수합성기에 적합한 주파수 대역이라 할 수 있겠다. 예를 들어 동일 크기의 목표물이라고 가정할 경우, 수 밀리미터의 파장을 주파수를 신호원으로 사용하는 밀리미터파 탐색기는 수 센티미터의

* 정회원, 삼성탈레스 레이더연구소

(Samsung Thales Radar Research Institute)

※ 본 논문은 삼성탈레스 자체연구과제로 수행된 것임
접수일자:2011년9월20일, 수정완료일:2012년1월17일

고 최적의 위상잡음을 만족하도록 설계되었다.

세 번째로 저역주파수 합성부는 LO2신호를 클럭으로 사용하는 DDS의 출력주파수($f_c \pm 62.5\text{MHz}$, 주파수 step: 2.5MHz)를 생성한다. 이렇게 생성된 DDS 출력주파수를 4체배하여 최종 출력 대역폭이 500MHz 인 광대역 저역주파수 합성부를 구현하였다.

네 번째로 국부신호 발생부를 PLDRO(Phase Locked Dielectric Oscillator)대신에 모듈의 소형화를 위해 Hittite사의 HMC535LP4 PLO(Phase Locked Oscillator)^[3]를 사용하여 국부신호를 생성한다. 생성된 국부신호는 저역주파수 합성부에서 생성된 광대역 신호와 서브 하모닉 믹서를 통해 혼변조하여 최종 LO1신호를 생성하는데 이때, LO1신호의 출력 위상잡음은 혼변조시 저역주파수신호와 PLO 출력신호의 위상잡음과 비교했을 때 PLO의 위상잡음이 10dB 보다 높은 위상잡음을 가지고 있으므로 LO1 위상잡음은 PLO 출력신호의 위상잡음 특성을 따라갈 것이다.

다섯 번째로 LO1 신호를 파형발생기로부터 들어오는 LFM, PT, FMICW 등의 레이더 파형신호와 혼변조하여 레이더 송신 신호로 상향 변환시켜주는 주파수상향부로 구성된다.

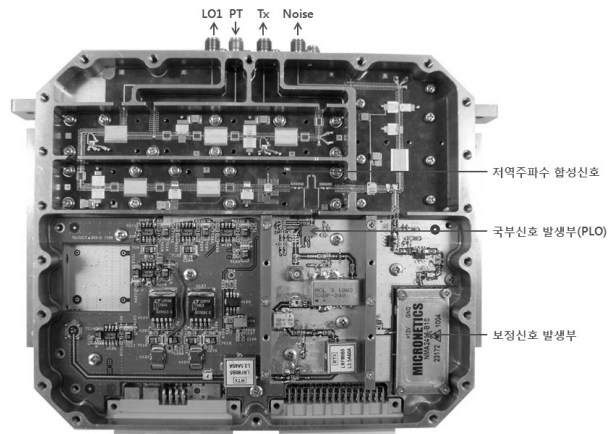
마지막으로 탐색기의 수신경로의 오차를 보상하기 위한 Ka 대역 보정신호(대역폭 : $XX\text{GHz} \pm 500\text{MHz}$)를 발생하는 잡음보정신호발생부가 구성되어 있다.

이렇게 설계된 주파수합성기는 DDS를 이용하였기 때문에 10Hz 이하까지의 고해상도를 가질 수 있다.

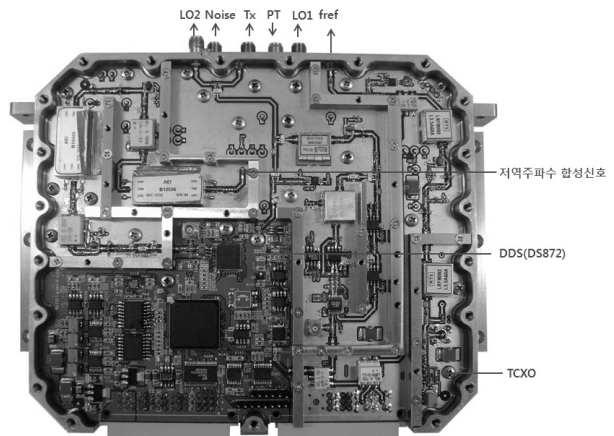
III. 제작 및 측정결과

그림 2는 앞서 설계된 내용을 반영하여 실제 제작된 사진이다. 주파수합성기의 소형화를 위해 모듈의 윗면과 밑면을 사용하는 구조를 사용하여 모듈의 크기를 소형화 하였으며 제작된 크기는 $170(W) \times 145(L) \times 30(H)\text{mm}^3$ 이다.

그림 2를 살펴보면 윗면에는 전원부, 보정신호 생성부 및 고주파신호 생성부로 구성되어 있다. 고주파신호 생성부의 기판은 Duroid 5880($T=5\text{mil}$)을 사용하여 제작하였다. 윗면의 고주파 송신신호 생성부의 부품 대부분이 bare chip 타입이기 때문에 MMIC 조립공정을 사용하여 조립하였으며 이런 bare chip 상태의 부품들은 온도 변화에 따른 출력레벨 변화가 심하기 때문에 출력레벨변화를 줄이기 위해 TCA(Thermal Compensation



(a) 윗면
(a) Top plane



(b) 밑면
(b) Bottom plane

그림 2. 제작된 주파수 합성기 사진
Fig. 2. Implemented frequency synthesizer.

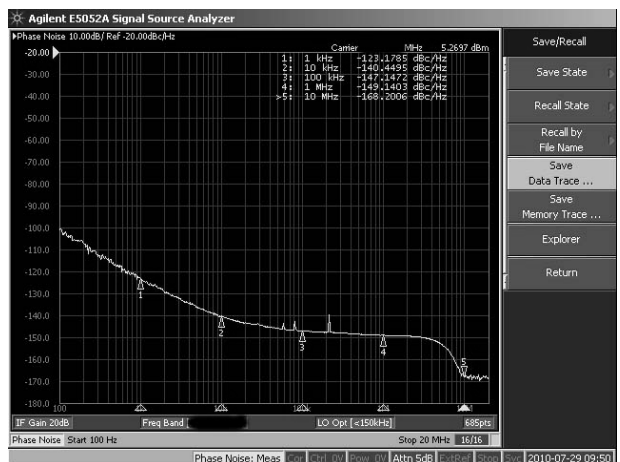


그림 3. 기준신호 위상잡음
Fig. 3. Phase noise of reference signal.

Attenuator)를 이용하여 소자의 온도에 따른 변화를 보상하였다. 또한, LO1 출력단의 마지막 증폭기를 포화시켜 온도에 대한 변화를 최소화하였다.

밑면에는 FR4기판을 사용하여 기준신호 생성부, LO2신호 합성부, 디지털 제어부, 저역주파수 합성부로 제작하였다.

그림 3은 Agilent사의 E5052A SSA(Signal Source Analyzer)로 측정된 기준신호의 위상잡음 특성이다.

다음으로 측정된 LO2 신호의 위상잡음은 그림 4와 같다. 루프 대역폭은 3kHz로 설정하였다.

그림 5는 저역주파수 합성부의 DDS의 스위칭시간을 SSA 장비의 Transitions 기능을 이용하여 측정한 결과 약 200ns 정도로 측정되었다.

그림 6은 최종 출력에 대한 LO1 및 Tx 신호의 출력 레벨에 대한 평탄도 측정결과이다. 측정 대역내 케이블 손실을 포함하여 500MHz 대역폭에서의 출력레벨의 평

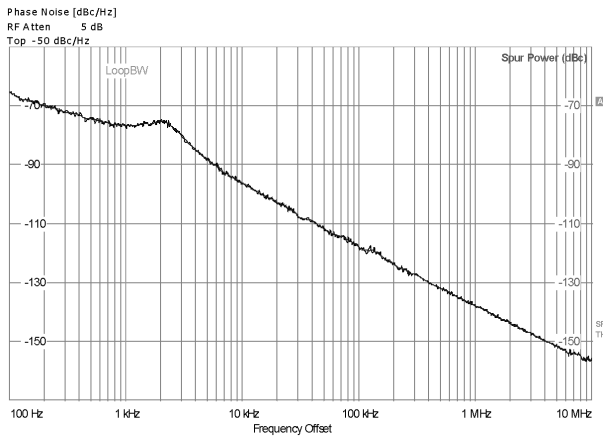


그림 4. LO2 위상잡음
Fig. 4. Phase noise of LO2.

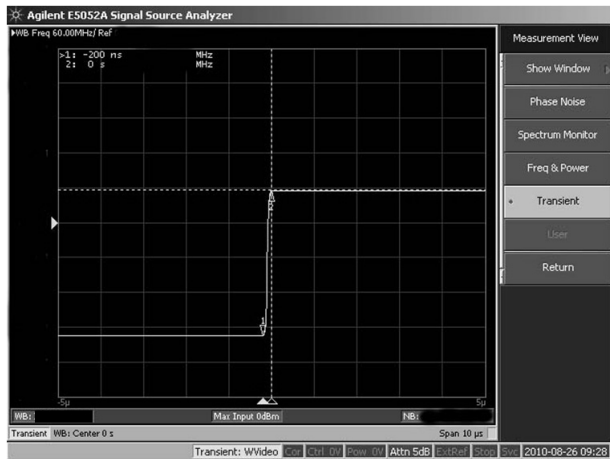
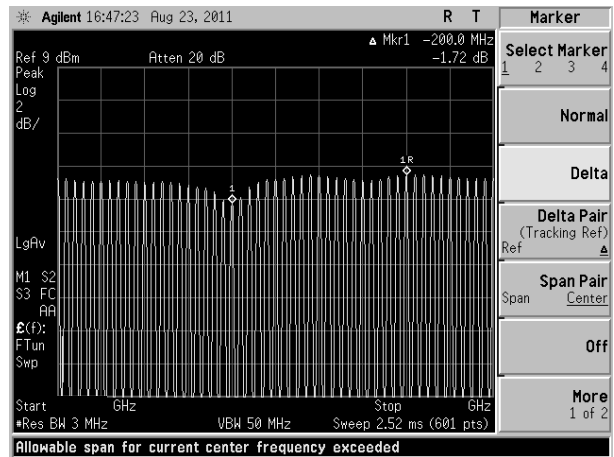
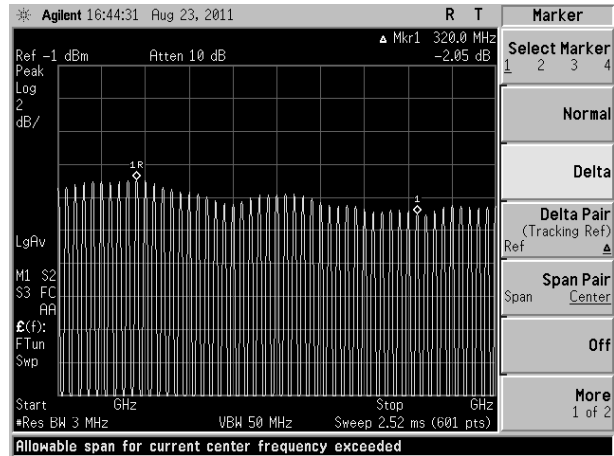


그림 5. 측정된 DDS의 스위칭 시간
Fig. 5. Measured switching time of DDS.



(a) LO1의 평탄도
(a) Flatness of LO1



(b) Tx의 평탄도
(b) Flatness of Tx

그림 6. 주파수합성기의 출력레벨 평탄도
Fig. 6. Frequency synthesizer of flatness of output level.

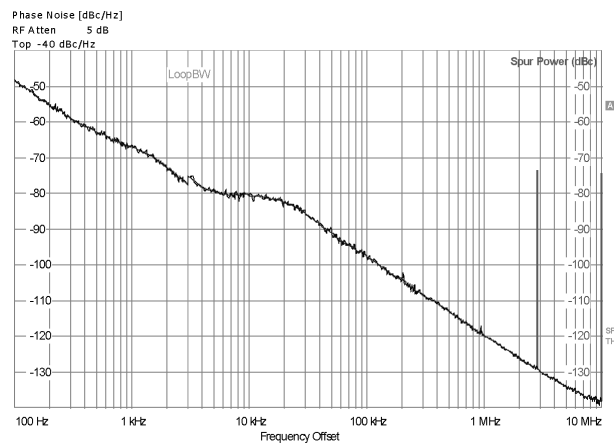


그림 7. LO1 위상잡음
Fig. 7. Phase noise of LO1.

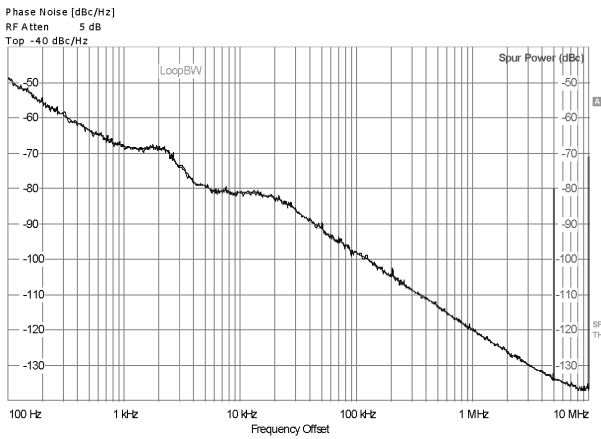
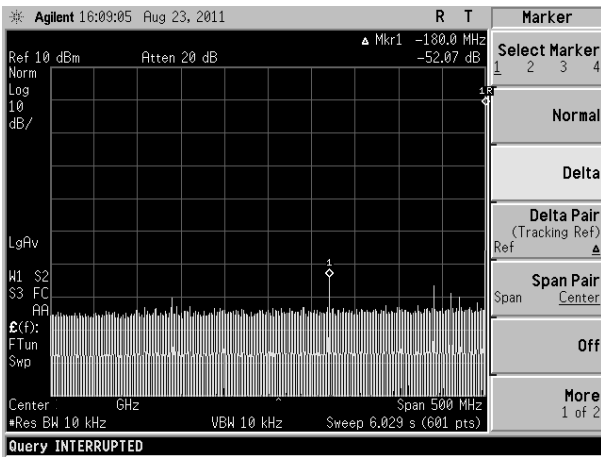


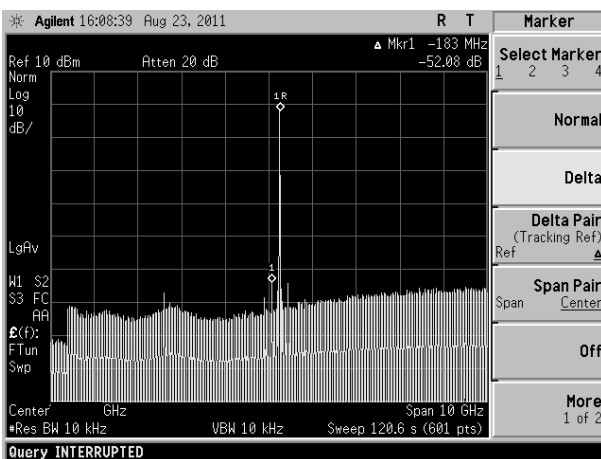
그림 8. Tx 위상잡음
Fig. 8. Phase noise of Tx.



그림 10. 주파수합성기의 스위칭시간
Fig. 10. Switching time of frequency synthesizer.



(a) 대역내 불요파
(a) In-band spurious



(b) 대역외 불요파 특성
(b) Out-band of spurious

그림 9. 불요파 특성
Fig. 9. spurious characteristic.

표 2. 측정결과
Table 2. Measured result.

항목	목표성능	측정결과
출력주파수	XXGHz±250MHz	XXGHz±250MHz
출력레벨	0 dBm±1.5 dB	0 dBm±1 dB
주파수간격	10MHz	≤10MHz
스위칭시간	≤10 μs	≤0.7 μs
위상잡음	1 KHz	-65 dBc/Hz
	10 KHz	-80 dBc/Hz
	100 KHz	-95 dBc/Hz
대역내 스퓨리어스	≤-40 dBc	≤-52 dBc

탄도는 약 0dBm±1dB로서 목표 규격을 만족하는 성능을 보이고 있다.

마지막으로 LO1 및 Tx의 위상잡음을 50GHz까지 측정 가능한 ROHDE&SCHWARZ 계측기 FSUP50을 사용하여 측정한 결과이다.

위 그림 9는 주파수합성기의 불요파 특성을 측정한 결과이다. 측정결과를 보면 대역 내/외에서 약 -52dBc의 불요파 특성을 가지는 것을 확인하였고, 목표성능을 만족하였다.

다음으로 그림 10은 설계/제작된 주파수합성기의 스위칭 시간을 측정한 결과이다. Agilent 사의 11970A 믹서를 이용하였다. 측정결과에서 보듯이 스위칭 시간이 약 0.7μs 정도로 매우 우수한 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 표 2에 최종 측정된 결과를 목표성능과 비교하여 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Ka 대역 밀리미터파 탐색기용 주파수 합성기를 설계하였다. DDS 체배 방식을 이용하여 낮은 위상잡음, 높은 주파수해상도와 우수한 불요파 특성과 고속 스위칭시간을 만족하였다. 이렇게 제작된 주파수 합성기의 특성이 기존의 제작 논문과 비교했을 때의 성능을 표 3에 비교하여 보았다. 표에서 비교하였듯이 참고 문헌에 나와 있는 주파수합성기 대비 높은 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

표 3. 타 논문과의 성능비교

Table 3. The comparison of the performance other paper.

참고 문헌	주파수 [GHz]	위상잡음 [dBc/Hz]		스푸리어스 [dBc]	대역폭 [MHz]	채널 간격 [MHz]	Lock Time	비고
		@1kHz	@100kHz					
[4]	35	-83	-	-62	400	40	<15us	
[5]	35	-94.6	-	-	없음	-	없음	
[6]	33	-80	-105	-57	4300	162.5		MMIC
[7]	35.0	-48	-96	-43	500	8	<2ms	
This Paper	3X.X	-68	-98	-52	500	≤10	-	스위칭 시간 <0.7us

향후에 본 주파수합성기를 보완하여 레이더 체계 및 유도탄 체계등 다양한 시스템에 적용하도록 할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 박현창, 이문교, 김삼동, 이진구, “밀리미터파 응용 기술”, *한국전자과학회 논문지*, 19(5), pp. 3-12, 2008년 9월.

[2] DS872, DS872 datasheet, Available : <http://www.euvis.com>

[3] HMC535LP4, HMC535LP4 datasheet, Available : <http://www.Hittite.com>

[4] M. xiaohua, D. Hao, J. Chuangxin, M. Fan, “A Low Phase-noise Ka-band Frequency Synthesizer”, *Microwave Conference Proceeding*, pp. 1-3, 2011.

[5] M. S. Raj, M. Z. Straayer, T. E, Collins. III, “An Ultra-Low Phase-Noise Ka-Band Tuneable Frequency Synthesizer”, *Frequency Control Symposium*, pp. 738-743, 2008.

[6] M. Zhan, P. Qiu, B. Yan, R. Xu, W. Lin, “LTCC BPFs used in Ka band LTCC Frequency Synthesizer Module”, *Microwave Conference*

APMC, pp. 2508- 2510, 2009.

[7] 김현미, 양승식, 이만희, 염경환, “ 소형화된 Ka-대역 주파수 합성기 모듈 설계 및 제작”, *한국전자과학회 논문지*, 18(5), pp. 511-521, 2007년 5월.

저 자 소 개



임 주 현(정회원)-교신저자
 2005년 2월 충남대학교 전기전자
 전파공학과 학사 졸업.
 2007년 2월 충남대학교
 전파공학과 석사 졸업.
 2006년~현재 삼성탈레스(주)
 레이더연구소 선임연구원
 <주관심분야 : 레이더 시스템 및 송수신기설계>



양 승 식(정회원)
 2003년 충남대학교 전파공학과
 학사 졸업.
 2005년 충남대학교 전파공학과
 석사 졸업.
 2009년 충남대학교 전파공학과
 박사 졸업.
 2009년~현재 삼성탈레스(주) 레이더연구소
 전문연구원
 <주관심분야 : 초고주파 회로 설계 및 해석, 레이
 더 시스템>



송 성 찬(정회원)
 2001년 한국항공대학교 항공전자
 공학과 학사 졸업.
 2003년 한국항공대학교 항공전자
 공학과 석사 졸업.
 2002년~현재 삼성탈레스(주)
 레이더연구소 전문연구원.

<주관심분야 : 레이더 시스템 및 송수신기 설계,
 전자파 수치해석>