

W-대역 소형 펄스 도플러 레이다용 1 W급 SSPA 개발

Development of 1 W Class SSPA of a W-Band Compact Pulse Doppler Radar

서 미 희 · 김 현 주 · 김 소 수

Mihui Seo · Hyun-ju Kim · Sosu Kim

요 약

본 논문에서는 W-대역 소형 펄스 도플러 레이다에 적용을 위해 1 W급의 W-대역 반도체 기반 SSPA(solid state power amplifier)를 개발하였다. 개발된 SSPA는 8채배기를 통해 X대역 신호를 W-대역 신호로 상향변환한 후, 1 W급 GaN MMIC를 결합한 증폭기로 고출력 증폭시킨다. 하나의 안테나를 이용하여 송수신하는 레이다에 적용을 위해 수신 구간에 GaN MMIC의 드레인 전원을 제어하여 SSPA 잡음이 수신기에 미치는 영향을 최소화하였다. 개발된 SSPA는 CW조건에서 31.70 dBm~31.81 dBm의 평균전력을 출력하였으며, 50초 이상 운용에도 출력전력이 유지되었다.

Abstract

In this study, a 1 W W-band solid-state power amplifier (SSPA) was developed for application in a W-band compact pulse Doppler radar. The SSPA up-converted the X-band signal to a W-band signal with a multiplier ($\times 8$) and then amplified the high output using an amplifier. To apply the W-band compact radar, which transmits and receives signals using a single antenna, the SSPA noise was reduced by controlling the drain voltage of the SSPA according to the pulse repetition frequencies. The average power obtained was in the range of 31.7~31.8 dBm, and stable operation was possible for more than 50 s.

Key words: GaN MMIC, W-Band, SSPA, Transmitter

I. 서 론

밀리미터파 레이다는 기존의 마이크로파 레이다에 비해 소자의 크기가 작아 레이다 시스템의 소형화가 가능하므로, 초소형 드론, 차량용 레이다, 군수용 레이다 등 넓은 분야에서 활용을 위한 연구가 진행되고 있다. 특히 W-대역 주파수는 광대역 시스템 구현이 필수적인 고해상도 레이다와 초광대역(UWB: ultra wide band) 통신 시스템에 적합하다.

그에 따라 밀리미터파 레이다의 송수신 구성품 및 관련 반도체 소자 개발을 위한 연구에 관심이 높아지고 있다^{[1],[2]}. 그중, 종래의 송신기인 진행파관 증폭기인 TWTA(travelling wave tube amplifier)를 고전력 특성이 우수한 화합물 반도체 기반의 SSPA(slide state power amplifier)로 대체하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다^{[3]~[7]}.

TWTA는 해외도입이 대부분이므로 수급에 어려움이 있으며, 고장이 발생했을 때 수리가 용이하지 않은 단점이 있다. 또한, TWTA를 운용하기 위해서는 수십 kV의 고

「이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 수행된 연구 결과임.」

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received March 2, 2023 ; Revised March 20, 2023 ; Accepted April 10, 2023. (ID No. 20230302-018)

· Corresponding Author: Mihui Seo (e-mail: seomihui@add.re.kr)

전압이 안정적으로 공급되기 위한 전원공급장치의 개발이 필수적이다. 반면에 SSPA는 전력증폭 MMIC를 전력 결합하여 고출력을 생성하므로 고장이 발생하더라도 해당 소자를 교체하여 쉽게 수리할 수 있으며, 전력증폭 MMIC는 수십 V의 전원으로 동작하므로 상대적으로 전원공급장치 개발에 위험성이 낮다. 또한, 공정사의 공정 기술력 및 국내 MMIC의 설계 기술력이 발전함에 따라 전력증폭 MMIC를 국내 MMIC로 대체하면 독자적인 기술을 통한 송신기 개발도 가능해진다.

본 논문에서는 W-대역 소형 송신기 개발을 목표로 W-대역 1 W급 SSPA를 개발하였다. 펄스 파형 운용 중 수신기와 연동을 위해 수신 구간에서 SSPA의 잡음 영향성을 최소화하는 설계를 반영하였다. 또한, 레이더 시스템의 SNR 성능을 확보할 수 있는 송신신호의 불요파 규격을 만족하기 위해, SSPA가 불요파에 미치는 영향성을 분석하고 입력신호의 불요파 규격을 제한하였다.

II. 송신 출력 전력

본 논문에서는 그림 1과 같이 W-대역 송신기를 개발하였다. 개발된 송신기의 블록도와 회로는 그림 2와 같다. 개발된 송신기는 크게 송신신호의 고출력 증폭 기능을 하는 SSPA와 레이더 시스템의 수신경로 점검신호(Fpilot)를 출력하는 Fpilot 경로로 나뉜다. 두 경로의 입력신호는 W-대역 소형 레이더의 주파수합성기에서^[6] 출력한 X대역 송신신호인 FTX_X와 X대역 점검신호인 Fpilot_X이며, 입력신호들은 각 경로의 8배배기를 통해 W-대역 신호로 상향 변환된다. 해당 신호는 도파관 구조의 대역통과필터

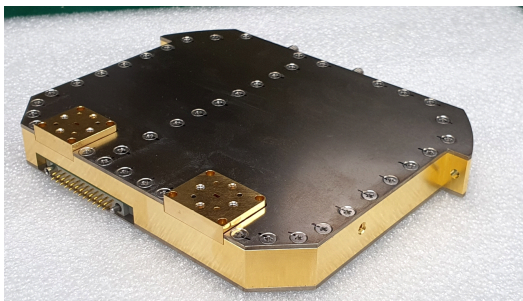


그림 1. 개발된 송신기
Fig. 1. Developed transmitter.

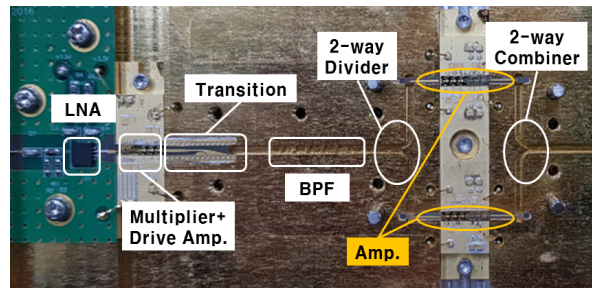
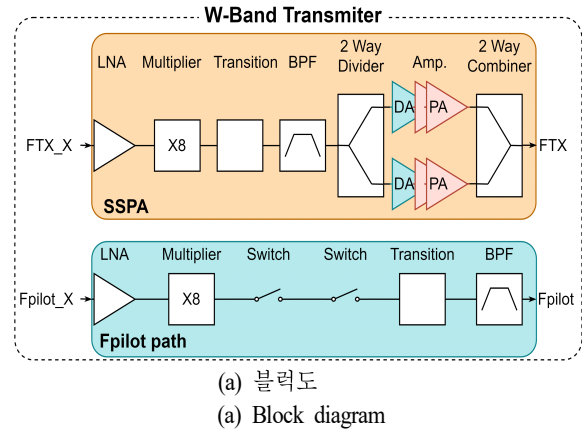


그림 2. W-대역 송신기
Fig. 2. W-band transmitter.

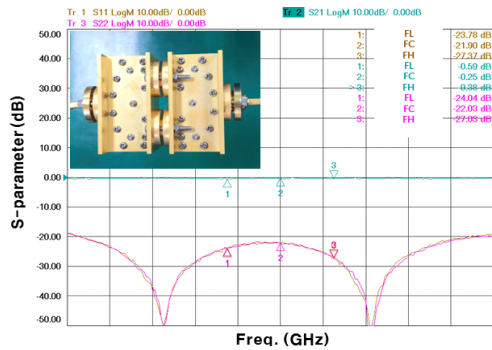
를 거쳐 체배기에서 발생하는 불필요한 고조파가 제거되도록 하였다. 이후, 마이크로스트립-도파관 전이구조를^[8] 거쳐 2 way로 분기된 FTX 신호는 구동증폭 MMIC와 전력증폭 MMIC를 통해 증폭된 후 2 way 결합기에서 결합되어 도파관 출력단을 통해 고출력 전력의 W-대역 신호로 출력된다. 분배기와 MMIC, MMIC와 결합기를 연결할 때 E-probe 형태의 마이크로스트립-도파관 전이구조를 포함하지만, 간략한 블록도를 표현하기 위해 그림 2에는 나타내지 않았다.

한편, 레이더 운용 전 W-대역 소형 레이더의 수신경로 점검을 위한 Fpilot 신호를 생성하는 Fpilot 경로에서는 수신기 출력신호가 포화되지 않도록 낮은 전력의 W-대역 신호를 출력해야 하므로 두 개의 스위치를 통해 신호를 감쇄시켰다. Fpilot 신호는 SSPA와 마찬가지로 마이크로스트립-도파관 전이구조를 적용하여 도파관 출력단으로 출력되며, 커플러를 통해 안테나를 거쳐 수신기로 입력된다.

본 SSPA에 적용된 전력증폭 MMIC는 해외 개발품으로 92 GHz~96 GHz에서 동작하는 30 dBm급 GaN MMIC로 데이터 시트상 이득은 12 dB, 전력효율은 15 %이다. 전력 증폭 MMIC에서 요구되는 입력전력을 제공하기 위해 92 GHz~96 GHz에서 동작하는 23 dBm급 MMIC를 구동증폭 MMIC로 선정하였다. 개발된 2 way 분배기와 결합기는 동일한 형상과 동작 특성을 가진다. 그림 3은 본 논문에서 개발된 W-대역 회로의 S-파라미터 측정 결과이다. 2-way 결합기와 분배기를 연결해서 측정한 결과, 반사손실은 22 dB 이상, 삽입손실은 0.6 dB 이하로 확인되었다. 도파관 형태로 제작된 W-대역 대역통과필터는 8체배기에서 출력되는 7차, 9차 고조파 및 FTX 주변의 불요파를 제거하는 역할을 한다. 측정결과, 대역통과필터를 통해 7차 고조파는 45.8 dB 이상, 9차 고조파는 21 dB 이상 감쇄

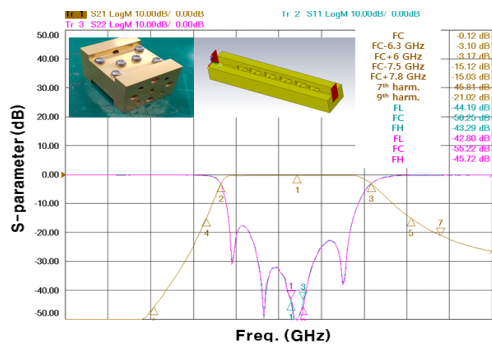
되었다.

W-대역 능동소자인 LNA, 체배기, 구동증폭 MMIC, 전력증폭 MMIC는 PCB에 실장되어야 한다. 하지만 주파수가 높아질수록 PCB에 반영되는 마이크로스트립 형태의 전송선로는 손실이 증가하므로, 본 논문에서는 2-way 분배기와 결합기, 임출력단 등의 전송선로를 도파관으로 설계하였다. 그에 따라 마이크로스트립과 도파관을 연결해주는 두 가지 형태의 전이구조를 SSPA에 적용하였으며, 각 전이구조의 특성은 그림 4와 같다. 그림 2에 표시된 전이구조는 Fin-line taper 구조로^[8], 대역 내에서 삽입손실 1.78 dB~1.81 dB, 반사손실 22.93 dB~24.15 dB의 특성을 가진다. 증폭기에 전력을 분배하고 결합하는 구조에서 적용된 E-probe 구조는 대역 내에서 삽입손실 1.61 dB~1.75 dB, 반사손실 10.60 dB~12.72 dB의 특성을 가진다.



(a) 2-way 결합기와 분배기

(a) W-band 2-way combiner and divider

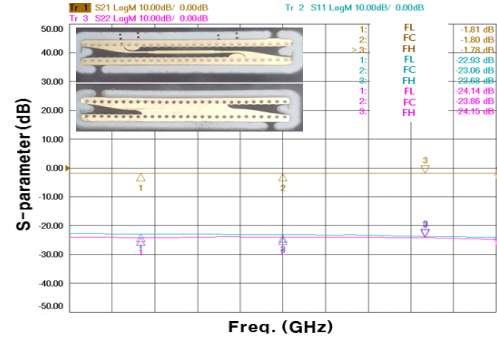


(b) 대역통과필터

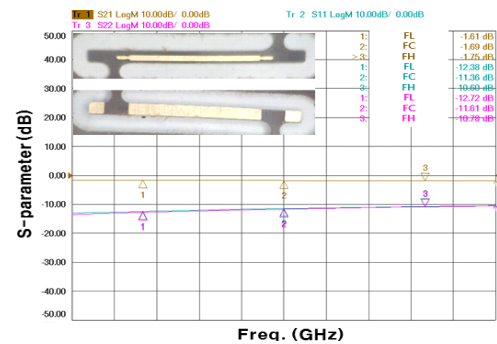
(b) Band pass filter

그림 3. W-대역 회로의 S-파라미터 측정결과

Fig. 3. S-parameter measurement result of W-band circuits.



(a) Fin-line taper



(b) E-probe

그림 4. 마이크로스트립-도파관 전이구조의 S-파라미터 측정결과

Fig. 4. S-parameter measurement result of microstrip-to-waveguide transposition.

CW 조건에서 X대역 신호의 입력전력이 -7 dBm일 때, 측정된 SSPA의 평균 출력전력은 최소, 중심, 최대 주파수에서 각각 31.74 dBm, 31.81 dBm, 31.71 dBm이다(그림 5). 이때, 최대 출력 전력이 발생한 중심주파수에서 측정된 소모전력은 31.02 W이며, 그에 대한 전력효율은 4.9 %이다. 단, 측정된 소모전력은 구동증폭 MMIC, 전력증폭 MMIC뿐만 아니라, 8채배기, 전력증폭 MMIC의 게이트 전원 제어회로 및 레이더 시스템 운용 중 필요한 송신전력/온도 모니터링 신호를 생성하기 위한 회로의 소모전력을 포함한다. 50초 이상의 운용 시간에서도 출력전력 변화가 약 0.1 dB 이내로 측정되어 시스템에서 요구하는 운용시간 내에서 안정적으로 동작하였다.

표 1에 나타난 참고문헌 [3] 및 참고문헌 [5]는 W-대역 신호가 SSPA에 입력되는 조건에서 성능을 측정한 결과지만, 본 논문에서 개발된 SSPA는 X-대역 신호를 상향 변환하는 회로를 포함하므로 전력효율이 타 연구 결과에 비해 다소 낮게 측정되었다. 또한, 송신 펄스파형을 위한 제어회로의 소모전력과 Fpilot 회로 생성을 위한 소자들의 기본 소모전력이 포함된 전력효율이므로 이를 고려하면 본 논문에서 측정한 SSPA의 전력효율 성능은 타 연구 결과와 유사한 것으로 판단된다.

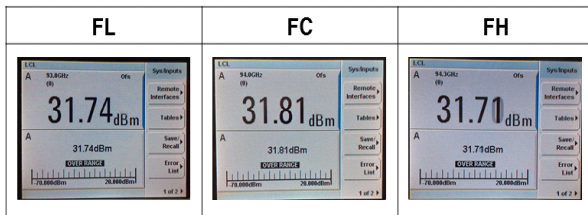


그림 5. SSPA 평균 출력전력 측정결과

Fig. 5. Average output power measurement result of SSPA.

표 1. W-대역 SSPA 성능 비교

Table 1. Performance comparison of W-band SSPA.

Ref.	Output power (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)	MMIC type
[3]	50	31	4.5~6	GaN HEMT
[5]	33~34.1	>31	Max. 8.2	GaN HEMT
This work	31.8	38.8	4.9	GaN HEMT

III. 펄스 동작 특성^[9]

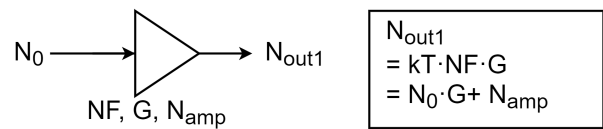
본 논문에서 개발된 SSPA는 하나의 안테나를 이용하여 펄스 파형으로 송수신하는 레이더 시스템에 적용되므로 송신신호 OFF 중 순환기를 통해 송신기의 잡음이 수신기에 미치는 영향을 최소화해야 한다. 따라서 SSPA 초단에 LNA를 위치시켜 FTX 경로의 잡음지수를 낮췄다. 또한, 전력증폭 MMIC의 드레인 전원을 펄스 제어하여 FTX 경로의 잡음을 최소화하였다.

그림 6에 따라 W-대역 증폭기로 SSPA의 잡음신호 N_{SSPA} 를 증폭하고, 스펙트럼 분석기를 통해 증폭된 잡음신호 $N_{out,2}$ 를 측정하였다. 식 (1)에 따라 N_{SSPA} 계산을 위해 증폭기 단독으로 동작할 때 잡음신호 $N_{out,1}$ 을 측정하고, 식 (2)를 통해 증폭기 내부잡음 N_{amp} 를 도출하였다. 이때, 증폭기의 이득 G 는 28 dB, SSPA와 증폭기 사이의 손실 L 은 1 dB이다. 식 (2)에서 N_0 는 상온의 백색잡음으로 -174 dBm/Hz이다.

$$N_{SSPA}[dB] = 10 \log_{10} (10^{N_{out2}[dB]/10} - 10^{N_{amp}[dB]/10}) - (G - L)[dB] \quad (1)$$

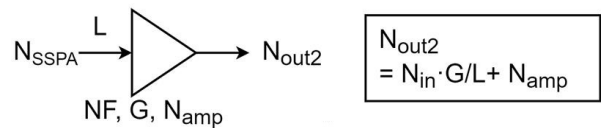
$$N_{amp}[dB] = 10 \log_{10} (10^{N_{out1}[dB]/10} - 10^{(N_0[dB] + G[dB])/10}) \quad (2)$$

중심주파수에서 측정된 N_{out1} 은 -126.2 dBm/Hz이며, SSPA와 증폭기가 연결된 상태에서 측정된 $N_{out,2}$ 는 -126.0



(a) 백색 잡음(N_0)

(a) White noise (N_0)



(b) SSPA 잡음(N_{SSPA})

(b) SSPA noise (N_{SSPA})

그림 6. 증폭기의 입력잡음에 따른 출력잡음 비교

Fig. 6. Output noise comparison according to the input noise.

dBm/Hz이다. 따라서 식 (2)에 따라 N_{amp} 는 -126.25 dBm/Hz, 식 (3)에 의해 N_{SSPA} 는 -165.60 dBm/Hz으로 계산된다.

다음으로, 측정된 N_{SSPA} 가 그림 7과 같은 연결로 수신기 열잡음에 미치는 영향을 확인하였다. W-대역 소형 레이더의 송신기와 수신기 사이 경로인 순환기에 의한 송수신 분리도는 15 dB이며, 수신기 잡음지수는 11 dB이하, 수신기 이득은 63 dB이다. 따라서 수신기 단독의 잡음밀도 $N_{receiver}$ 는 $kT \cdot NF \cdot G$ 에 의해 -101 dBm/Hz이다. 이때, 송신펄스 OFF 구간, 즉 수신 구간에서 SSPA의 -165.60 dBm/Hz의 잡음이 순환기를 거쳐 수신기에 입력되면 이득만큼 증폭되어 출력된다. 결과적으로 수신기에서는 $N_{receiver}$ 와 N_{SSPA} 가 증폭된 신호가 더해져서 총 잡음인 N_{total} 로 출력되고 그 값은 -100.9 dBm/Hz로 $N_{receiver}$ 보다 0.1 dB 높다. 순환기, 수신기 등을 비롯한 송수신 경로의 대역 내 이득, 잡음지수 등의 변동범위를 고려하면 열잡음 0.1 dB 차이는 허용 가능하므로 개발된 SSPA는 W-대역 소형 레이더 시스템에 적용할 수 있다.

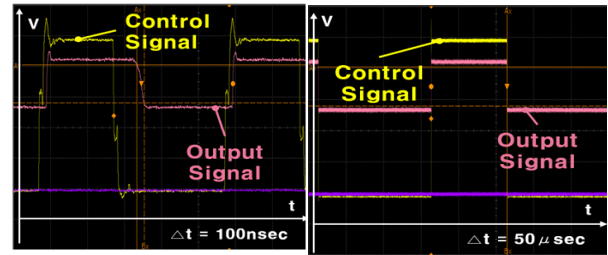
앞서 언급한 바와 같이 펄스 OFF 시 SSPA 잡음이 수신기에 전달되는 것을 최소화하기 위해 전력증폭 MMIC의 드레인 전원을 펄스 반복 주파수(PRF: pulse repetition frequency)에 따라 동작해야 한다. 개발된 SSPA의 드레인 전원 제어 중 상승/하강 시간 및 상승/하강 지연시간은 PRF와 펄스폭과 관계없이 유사한 것으로 측정되었다(표 2). PRF1, PRF2는 HRR 과형에서 최소, 최대 PRF이며, PRF3, PRF4는 MPRF 과형에서 최소, 최대 PRF이다.

그림 8은 시스템에서 요구하는 최대 PRF인 PRF2, 최소 PRF인 PRF3일 때 SSPA에서 출력된 펄스 신호의 측정 결

표 2. SSPA의 상승/하강 시간(t_r/t_f) 및 지연시간($t_{r,d}/t_{f,d}$) 측정결과

Table 2. Rising/falling time (t_r/t_f) and delay time ($t_{r,d}/t_{f,d}$) measurement result of SSPA.

PRF	t_r (nsec)	t_f (nsec)	$t_{r,d}$ (nsec)	$t_{f,d}$ (nsec)
PRF1	2.80	18.13	20.33	72.99
PRF2	2.90	20.20	20.38	74.15
PRF3	3.12	17.40	20.05	71.91
PRF4	2.90	17.40	20.29	72.47



(a) 최대 PRF(PR2)

(a) Max. PRF

(b) 최소 PRF(PR3)

(b) Min. PRF

그림 8. 드레인 전원제어에 따라 출력되는 SSPA 펄스 신호

Fig. 8. SSPA pulse signal according to the drain bias control.

과이다. PRF에 관계없이 t_r , t_f , $t_{r,d}$, $t_{f,d}$ 가 같으므로 최대 PRF 즉, 가장 짧은 PRI(pulse repetition interval) 조건에서 SSPA의 상승/하강 시간 및 지연시간에 의한 펄스폭 변화가 가장 두드러지게 나타난다. 시스템의 펄스이득 오차 1 dB 이내 규격을 반영하면 최대 PRF, 40% 송신 듀티비에 대해서 $t_r + t_f$ 가 45 nsec 이내여야 하며, 개발된 SSPA는 이 조건을 만족한다. 또한, 상승/하강 지연시간의 차이에 따른 펄스폭 오차는 전원 제어신호의 타이밍 조절을 통해 보상할 수 있는 성능이므로 시스템에 미치는 영향은 매우 적다.

IV. SSPA 불요파 특성

SSPA에 RF 신호가 입력될 때, 두 모듈을 연결하는 케이블 간 손실을 최소화하기 위해 X대역의 신호를 입력받아서 SSPA 내에서 체배시켜 증폭시키는 구조로 회로를 설계하였다. 이때, 체배기의 비선형성에 의해 그림 9처럼

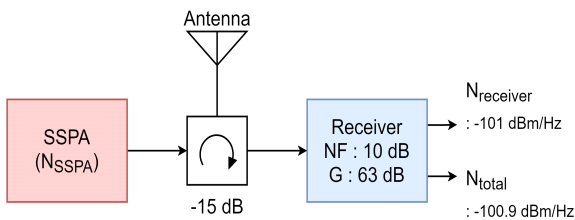


그림 7. W-대역 소형 레이더 시스템에서 SSPA 잡음(N_{SSPA})이 수신기 잡음($N_{receiver}$)에 미치는 영향성

Fig. 7. Effect of SSPA noise (N_{SSPA}) to receiver noise ($N_{receiver}$) for W-band compact radar system.

X대역 입력신호 f 와 같이 주파수합성기에서 불요파 f_s 가 입력되면, 체배기의 출력단에는 $8f$ 와 함께 $\Delta f (=f-f_s)$ 만큼 떨어진 불요파가 출력된다. 여기에서 f 는 FTX_X, $8f$ 는 FTX 신호이다. 입력주파수가 f , f_s 인 신호를 각각 $Ae^{i(2\pi ft + \phi_a)}$, $Be^{i(2\pi f_s t + \phi_b)}$ 으로 나타내면, n 차 항 성분은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$y_n = C_n (Ae^{i(2\pi ft + \phi_a)} \pm Be^{i(2\pi f_s t + \phi_b)})^n \quad (3)$$

식 (3)에 의해 입력된 신호 대비 8차 고조파와 불요파 진폭은 표 3과 같다. 원신호와 8체배된 후 FTX 신호의 진폭이 같다고 가정하면($C_8 \cdot A^7/C_0=1$), 출력 불요파의 진폭은 입력 불요파의 진폭보다 8배 증가하고, 그에 따라 불요파의 전력은 $20\log_{10}(8)$ 인 18 dB만큼 커질 것으로 예상된다.

본 논문에서는 해당 현상을 확인하기 위해 FTX_X 신호와 20 MHz 떨어진 불요파를 체배기에 입력하고, 출력되는 W-대역 불요파의 크기를 측정하였다. FTX_X에 비

해 -55 dBc, -50 dBc 작은 X대역 불요파를 입력했을 때, 출력된 불요파는 FTX 신호 대비 각각 -42 dBc, -37 dBc로 약 12 dB만큼 그 전력이 더 증가하여(표 4) 이론상으로 예상했던 18 dB보다는 그 악화량이 적었다. 이는 체배기의 동작 입력전력에 비해 불요파의 크기가 50 dB 이상 더 낮아 정상동작 상태보다 변화이득이 낮은 것을 원인으로 판단하였다. 참고로, 본 SSPA에 적용된 체배기는 X대역에서 0 dBm~5 dBm의 입력전력을 인가하였을 때, 10 dBm의 W-대역 신호를 출력한다.

송신신호 FTX 주변의 불요파는 신호처리 중 수신신호의 SNR 성능을 악화시키는 요인이 되므로 W-대역 소형 레이다 시스템에서는 그 크기를 FTX 신호 대비 -40 dBc 이하로 관리하고 있다. 그에 따라 주파수합성기에서는 표 4 결과를 반영하여 X대역 불요파는 FTX_X 대비 -55 dBc 이하가 되도록 개발하였다. 추가적으로 신호발생기를 통해 단일 신호가 입력되었을 때는 그림 10과 같이 SSPA에서 단독으로 생성하는 불요파는 없다. 따라서 불요파 규격을 만족하는 주파수합성기와 연동하면 W-대역

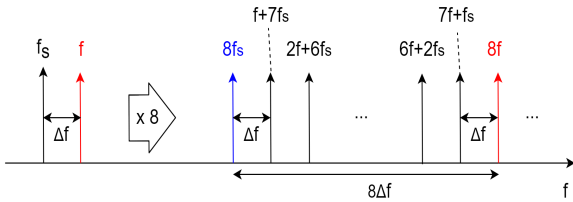


그림 9. 투톤 신호가 8체배기에 입력될 때, 출력신호 주변에 생성되는 신호

Fig. 9. Generated frequencies near the output signal by two-tone input signal applied to a multiplier ($\times 8$).

표 3. 투톤 신호가 8체배기에 입력될 때, 입력 대 출력 신호 크기 비교

Table 3. Magnitude comparison of the input signal to the output signal by two-tone input signal applied to a multiplier ($\times 8$).

Input signal (1st)		Output signal (8th)		Amp. ratio 8th/1st
Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	
f	$C_0 \cdot A$	$8f$	$C_8 \cdot A^8$	$C_8 \cdot A^7/C_0$
$f - \Delta f$ (f_s)	$C_0 \cdot B$	$8f - \Delta f$ ($7f + f_s$)	$8 \cdot C_8 \cdot A^7 \cdot B$	$8 \cdot C_8 \cdot A^7/C_0$

표 4. 8체배기에 입력되는 불요파 크기에 따른 출력 불요파의 크기 측정 결과

Table 4. Measurement result of W-band output spurious signal by X-band input spurious applied to a multiplier ($\times 8$).

Input spurious (X-band)		Output spurious (W-band)		Δ Amp.
Offset freq.	Amp.	Offset freq.	Amp.	
20 MHz	-50 dBc	20 MHz	-37.78 dBc	12.22 dB
20 MHz	-55 dBc	20 MHz	-42.94 dBc	12.06 dB

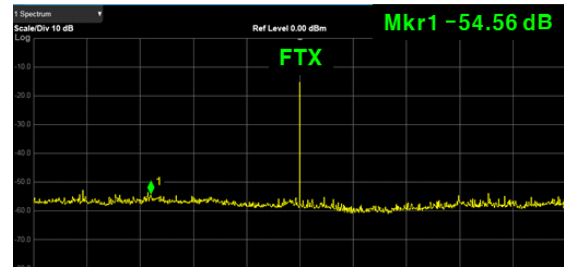


그림 10. SSPA에서 생성되는 W-대역 불요파 측정 결과
Fig. 10. Measurement result of W-band spurious signal generated by the SSPA.

신호의 불요파 규격은 만족할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 W-대역 소형 레이더 시스템 적용을 위해 X대역 신호를 W-대역 신호로 상향 변환하고 1 W급 신호로 증폭시키는 W-대역 SSPA를 개발하였다. SSPA에는 펄스 OFF 중 잡음을 최소화하기 위한 LNA, X대역 신호를 W-대역 신호로 변환하기 위한 8체배기, 2단으로 구성된 증폭기에 신호를 분배하고, 증폭된 출력전력을 결합하는 분배기와 결합기, 그리고 구동증폭 MMIC, 전력증폭 MMIC로 구성된 증폭기가 적용되었다. 전력증폭 MMIC는 고출력 전력 생성에 유리한 GaN MMIC를 사용하였다. 개발된 SSPA는 31.7 dBm~31.81 dBm의 송신 평균전력을 출력하였으며, 50초 이상 운용에서도 안정적으로 동작하였다.

하나의 안테나로 송수신하는 레이더에 SSPA를 적용하기 위해 전력증폭 MMIC의 드레인 전원을 제어하여 PRF에 따라 SSPA가 펄스를 ON/OFF할 수 있도록 하였다. 이때, SSPA에서 출력되는 FTX 신호의 펄스 파형 특성을 측정한 결과, 상승/하강 시간의 합은 45 nsec 이하로 규격을 만족하였다. 펄스 OFF 중 SSPA에서 출력되는 잡음은 -165.60 dBm/Hz로 측정되었으며, 이 잡음이 순환기를 거쳐 수신기에 입력되어도 시스템에 미치는 영향은 미미하다.

추가적으로, 송신신호의 불요파를 낮추기 위해 SSPA에 적용된 체배기의 불요파 특성을 실험적으로 확인하고, 주파수합성기의 X 대역 불요파를 -55 dBc 이하가 되도록 요구사항을 도출하였다. 또한, SSPA 단독으로 발생하는 W-대역 불요파는 없음을 확인하였다. 위의 결과에 따라 본 논문에서 개발된 SSPA는 W-대역 소형 레이더 시스템에 적용될 수 있다.

References

- [1] S. W. Lee, W. S. Kim, S. S. Kim, M. S. Kim, and J. H. Kim, "A W-band amplifier with a new wide-band interstage matching technique using self-resonance of a microstrip-coupled line," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93894-93900, Aug. 2022.
- [2] J. H. Jeong, Y. M. Jang, J. Y. Kim, S. S. Kim, and W. S. Kim, "Design of W-band GaN-on-silicon power amplifier using low impedance lines," *Applied Science*, vol. 11, no. 19, p. 9017, Sep. 2021.
- [3] J. Soric, N. Kolias, J. Saunders, J. Kotce, A. Brown, and C. Rodenbeck, et al., "A 100-W W-band GaN SSPA," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 32, no. 6, pp. 712-715, Jun. 2022.
- [4] Z. Griffith, M. Urteaga, and P. Rowell, "A W-band SSPA with 100~140-mW P_{out} , >20% PAE, and 26~30-dB S_{21} gain across 88~104 GHz," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 30, no. 2, pp. 189-192, Feb. 2020.
- [5] F. Yang, J. Li, H. X. Yu, H. F. Zhao, Y. Zhao, and X. M. Chen, et al., "W band solid-state power amplifier for aerospace usage," *The Journal of Engineering*, vol. 2022, no. 2, pp. 210-215, Feb. 2022.
- [6] M. H. Seo, H. J. Kim, and S. S. Kim, "Phase noise analysis to improve frequency resolution of W-band compact radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 5, pp. 348-355, May 2022.
- [7] W. Shaobing, G. Jianfeng, W. Weibo, and Z. Junyun, "W-band MMIC PA with ultrahigh power density in 100-nm AlGaIn/GaN technology," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 63, no. 10, pp. 3882-3886, Oct. 2016.
- [8] K. G. Kim, M. H. Yong, H. Lee, J. H. Joo, S. H. An, and M. H. Seo, "Design of W-band microstrip-to-waveguide transition structure using fin-line taper," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 22, no. 3, pp. 37-42, Jun. 2022.
- [9] M. H. Seo, H. C. Jeong, K. I. Na, and S. S. Kim, "SSPA development of 100W class in Ka-band," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 22, no. 6, pp. 129-135, Dec. 2022.

서 미 희 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3441-0190>



2006년 2월: 고려대학교 물리학과 (이학사)

2013년 2월: 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)

2013년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 송수신기 개발

김 소 수 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1110-7896>



1993년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

2014년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1996년 1월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 초고주파 소형 레이더

김 현 주 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6699-5720>



2006년 2월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학 (공학사)

2008년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학부 (공학석사)

2013년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학부 (공학박사)

2013년 3월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리