

# S-band 1.5 kW Pulsed SSPA 설계 및 제작

Design and fabrication on an S-band 1.5 kW pulsed Solid State Power Amplifier

주지한, 장성민, 최길웅, 박동민\*, 최진주

(광운대학교 전자공학과)

(\*삼성 탈레스)

Key Words : 1.5 kW pulsed SSPA, S-band

## 목 차

- I. 서론
- II. S-밴드 1.5 kW pulsed 반도체 전력 증폭기 설계 및 제작
- III. 결론 및 고찰

### I. 서론

레이더의 송신부에 coherent radiation을 발생하는 고출력 전력증폭기가 필요하다. 고출력 전력증폭은, 진공전력증폭기 (vacuum power amplifier) 및 고체전력증폭기 (Solid-state power amplifier (SSPA))에서 가능한데, 일반적으로 수 GHz 대역에서는 반도체기술의 발달로 인해 SSPA가 많이 사용되고 있다. 수십내지 수백 kW를 필요로 하는 레이더에 응용되는 고출력 전자파 증폭을 위해서, SSPA 소자의 최대출력이 수백와트를 넘지 못하기 때문에 일반적으로 power combining 기술을 이용하여 원하는 최대출력을 얻는다. power combining 효율을 개선하면, 반도체소자의 우수한 출력특성을 이용하여 고출력이면서 phase noise가 우수한 high power amplifier (HPA)를 개발할 수 있다.

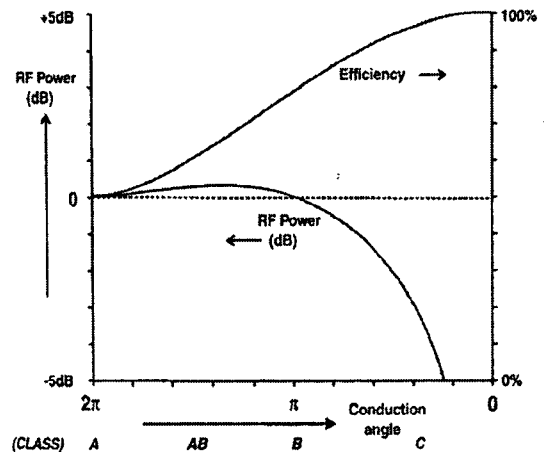
본 연구에서는, Surveillance 주파수대역인 2.7 - 3 GHz 대역에서, 최대출력 1.5 kW, 총 이득 68dB 이상을 증폭하는 고출력 SSPA를 설계 제작하였다.

### II. S-밴드 1.5 kW pulsed 반도체 전력 증폭기 설계 및 제작

#### 1. Class C Amplifier

본 연구에서는 효율을 증가시키기 위해 C급 증폭기로 설계하였다. C급 증폭기의 장점은 RF 신호가 입력될때 전류가 소모

되므로 A급, B급 증폭기보다 효율이 증가하게 된다. 이로 인해 발열이 줄어들게 된다. 반면에 낮은 구동점으로 인해 발생하는 큰 Negative swing은 트랜지스터의 breakdown voltage를 넘을 수 있으며 그때 트랜지스터는 손상을 입게된다.

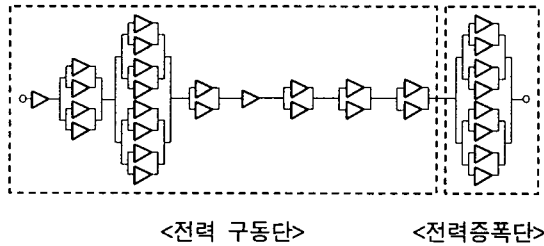


<그림 1> 도통각에 따른 Power와 효율과의 관계 비교

C급 증폭기를 설계하는 최상의 방법은 대신호 임피던스와 산란행렬을 정확히 평가하여 주어진 주파수, 바이어스 전압 및 전력 등급에서 최적화하는 것이다. 그러나 본 논문에서는 공통-에미터 바이폴라 트랜지스터(Common Emitter Bipolar Junction Transistor)를 사용하였다.

#### 2. 1.5 kW 펄스 반도체 전력증폭기의 설계 및 제작

그림 2는 본 논문에서 제안한 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기(SSPA)의 구성도이다. SSPA는 총 9단으로 구성하였으며, 1.5 kW의 전력 증폭단을 구동시키기 위한 8단의 구동 증폭단과 1단의 전력 증폭단으로 구성된다. 그림 1에서 보듯이 두 번째 단을 제외한 나머지 단은 평형 구조로 설계하였다. 평형 구조는 전체 전력 증폭기의 신뢰성을 높이고, 입출력 단의 개선된 정재파비를 얻을 수 있는 장점이 있다. 표 1은 본 논문에서 제안한 설계사양을 나타내고 있다.

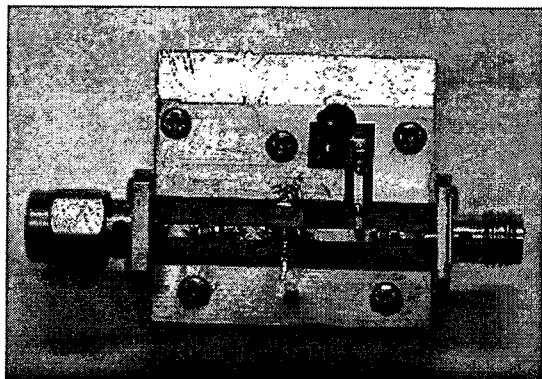


<그림 2> 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기의 구성도

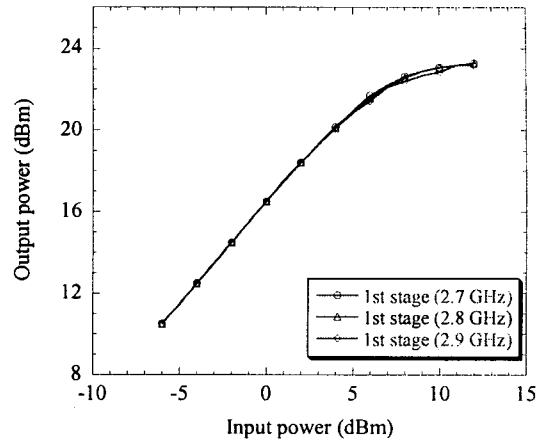
<표 1> 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기 설계 사양

Frequency	2.7~2.9 GHz
Peak output power	1.5 kW
Pulse width / PRF / Duty cycle	100 $\mu$ s / 1kHz / 10%
Gain	68 dB
PAE	36 %

1st부터 3rd stage까지는 제조사에서 제공하는 소신호 파라미터를 기초로 하여 Agilent 사의 ADS 컴퓨터 시뮬레이션 코드를 이용하여 설계, 제작한 후 측정되었다. 4th stage부터는 비선형 특성이 주어지지 않아 트랜지스터의 입/출력 임피던스만으로 전력 증폭기를 설계하였다. 다음은 1st~7th stage까지의 측정 결과이다.

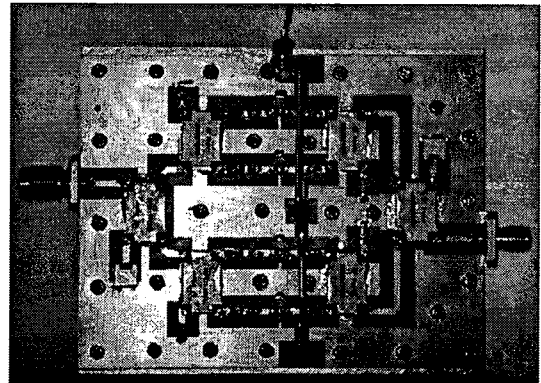


(a) 1st stage 제작사진

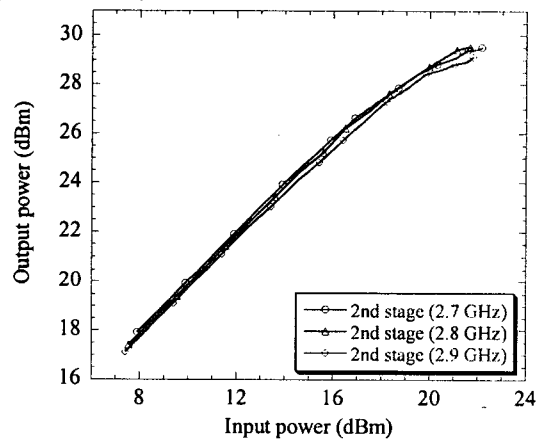


(b) 1st stage 구동곡선

<그림 3> 1st stage 제작사진 및 구동곡선

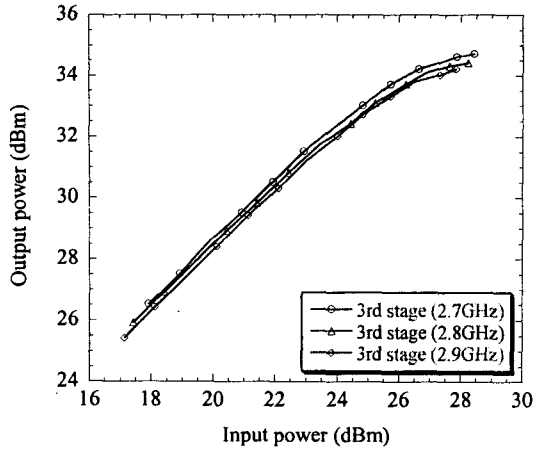


(a) 2nd stage 제작사진

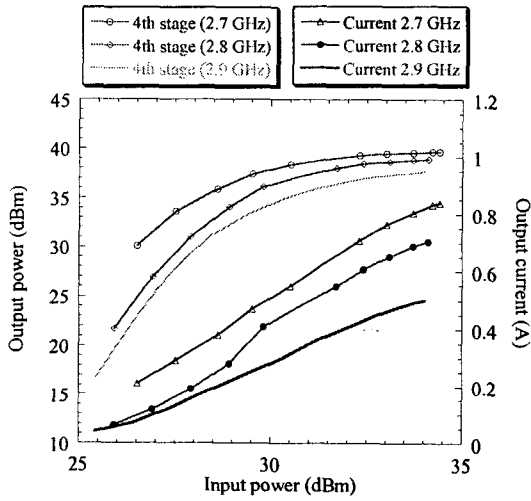


(b) 2nd stage 구동곡선

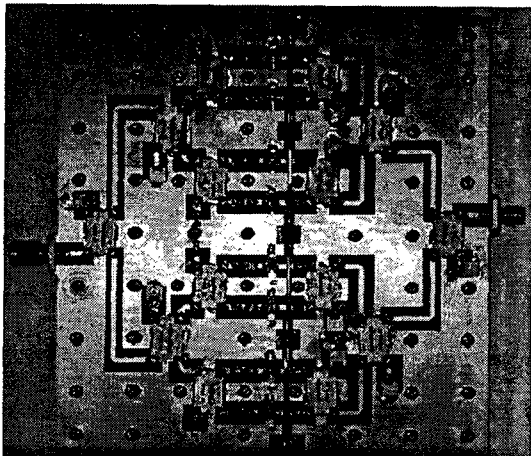
<그림 4> 2nd stage 제작 사진 및 구동곡선



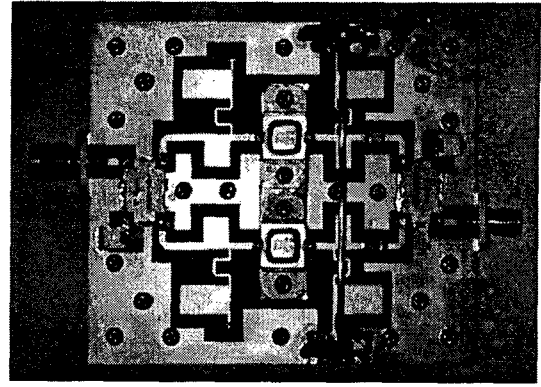
<그림 5> 3rd stage 구동곡선



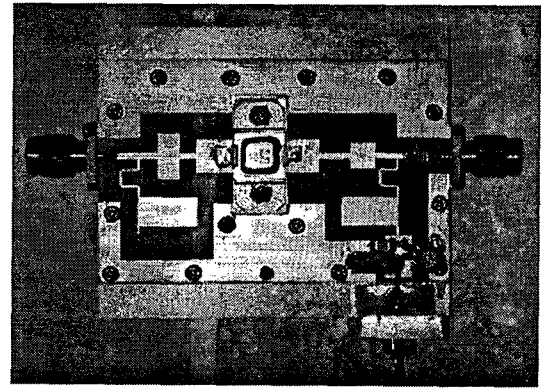
<그림 6> 4th stage 구동곡선



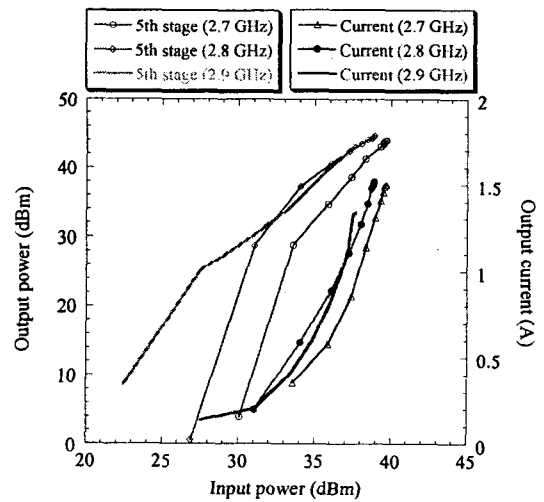
<그림 7> 3rd stage 제작 사진



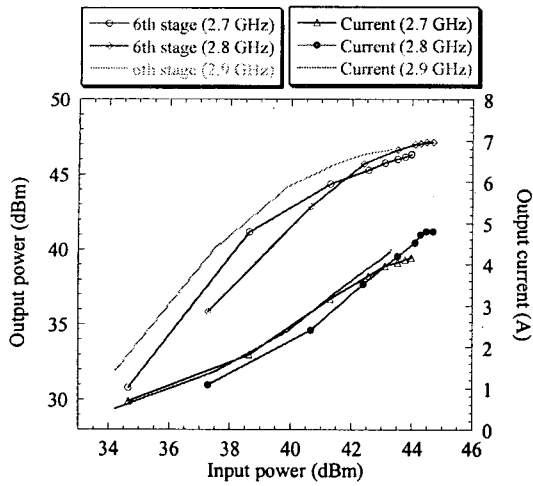
<그림 8> 4th stage 제작 사진



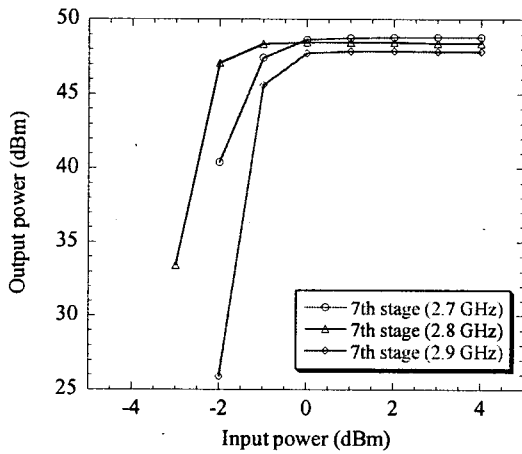
<그림 9> 5th stage 제작 사진



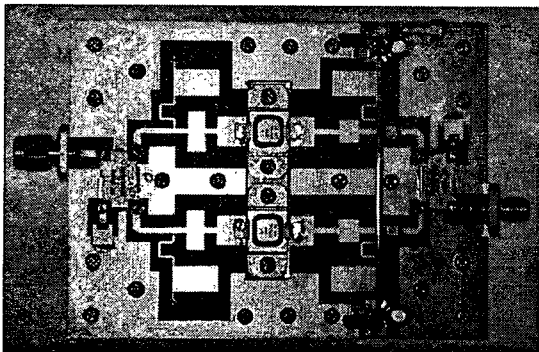
<그림 10> 5th stage 구동곡선



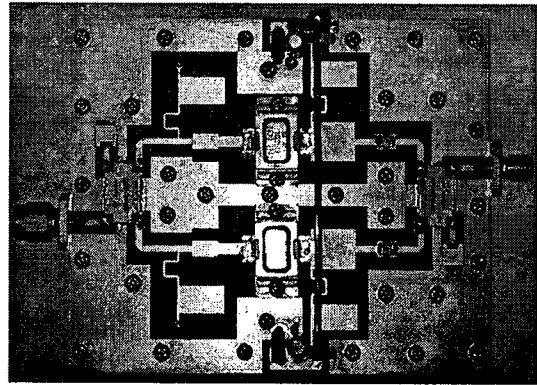
<그림 11> 6th stage 구동곡선



<그림 12> 7th stage 구동곡선

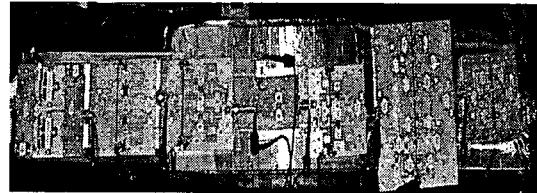


<그림 13> 6th stage 제작 사진



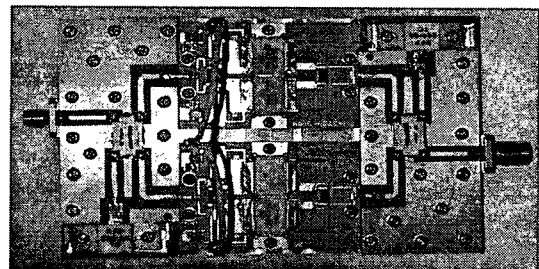
<그림 14> 7th stage 제작 사진

현재 최종 전력 증폭단 제작이 완료 되었으나 최종 결합기로 사용할 90° Hybrid 커플러가 아직 준비되지 않아서 추후에 측정할 예정이다. 그림 4은 S-밴드 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기의 측정 사진이다.

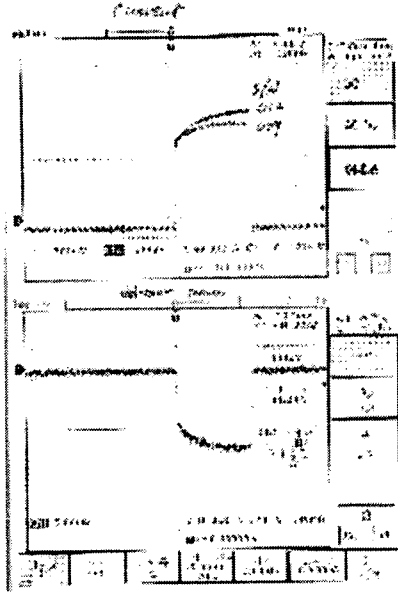


<그림 15> S-밴드 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기의 측정 사진

그림 16은 8th stage 의 제작 사진과 peak current를 나타내고 있다.



(a) 제작 사진



(b) peak current

<그림 11> 8th stage 제작 사진 및 peak current

### III. 결론 및 고찰

본 연구를 통해 Surveillance Radar를 대체할 수 있는 1.5 kW 펄스 반도체 전력 증폭기를 설계 및 제작 측정하였다. 입력 전력이 0 dBm일 경우 현재까지의 최종 출력 전력은 8 stage까지 하여 약 490 W를 얻었다. 이때의 펄스폭은 100  $\mu$ s, PRF는 1 kHz, Duty는 10 %이며 그때 PAE는 약 36 %이다. 최종 전력 증폭단인 9 stage는 현재 제작이 완료되었으나 최종 결합기로 사용할 90° Hybrid 커플러가 아직 준비되지 못하여 측정이 이루어지지 않았다. 최종 전력 증폭단은 최종 결합기가 준비되는 데로 측정할 것이다.

#### 참고문헌

1. Steve. C. Cripps, *RF Power Amplifier for Wireless Communication*, Boston, London : Artech House, 1999.
2. Steve. C. Cripps, *ADVANCED TECHNIQUES in RF Power Amplifier Design*, Boston, London : Artech House, 2002.
3. S.A Maas, *Nonlinear Microwave and RF Circuits*, Boston, London : Artech House, 2003
4. David A. Bell, *SOLID STATE PULSE CIRCUITS*, Third edition : Prentice Hall, 1988
5. Thomas S. Laverghetta, *Handbook of Microwave Testing* : Artech House,
6. Edward D. Ostroff, *SOLID-STATE RADAR TRANSMITTERS* : Artech House, 1985