

Ku-band의 소형 지구국용을 위한 8W 고출력 증폭기에 관한 연구

(A Study on the 8W High Power Amplifier for VSAT at Ku-band)

조 창 환* · 이 찬 주** · 홍 의 석***

Chang Hwan Cho* · Chan Joo Lee** · Ui Seok Hong***

요 약

본 논문에서는 hybrid기법을 이용하여 무궁화 위성의 상향 주파수인 14.0~14.5 GHz에서 동작하는 위성 지구국용 8W 전력증폭기를 설계·제작하였다. 제작의 간편성 때문에 전체 전력 증폭기를 크게 구동 증폭부와 전력 증폭부의 두 부분으로 나누어 설계·제작하였다. 또 각 부에 DC 전원 공급을 위한 바이어스 회로부를 같은 하우징내에 장착하여 무게 및 부피를 최소화하였다. 제작된 전력 증폭기는 500 MHz대역폭 내에서 소신호 이득이 26 ± 1 dB, 입·출력 반사손실이 각각 7dB와 12dB이상이었다. 14 GHz, 14.25 GHz와 14.5 GHz 주파수에 대해 1dB 압축점의 출력전력은 39.0~39.2 dBm으로서 설계시 목표로 했던 출력전력 8W를 상회하였다. 본 논문에서 제시한 SSPA 제작기법은 각종 radar 및 SCPC용 고출력 증폭기 설계 및 제작에도 적용할 수 있다.

Abstract

The 8W hybrid MIC SSPA has been developed in the frequency range from 14.0 GHz to 14.5 GHz for uplink of KOREASAT's earth station. The whole system was designed of two parts with driving amplifier and high power amplifier to simplify the fabrication process. we reduced weight and volum of power amplifier through arranging the bias circuits in the same housing.

The realized SSPA has a small signal gain of 26 ± 1 dB within 500 MHz bandwidth, and the input and output return losses are over 7 dB and 12dB respectively. The output power of 39.0~39.2dBm is achieved at the 1dB gain compression point of 14 GHz, 14.25 GHz, and 14.5 GHz. That reveals higher power than 8W of design target. The proposed SSPA manufacture techniques in this paper can be applied to the implementation of power amplifiers for some radars and SCPC.

* LG 전자부품 연구소 (LG Electro-Components Ltd.)

** 신홍전문대학교 전자통신학과 (Dept. of Radio & Com. of Shinheung Junior Col.)

*** 광운대학교 전자공학과, 광운대학교 신기술연구소 (Dept. of Radio Science & Eng. of KwangWoon Univ., Institute of New Technology KwangWoon Univ.)

본 논문은 94년도 한국과학재단 핵심전문 연구지원에 의한 결과임. (과제번호 : KOSEF 941-0900-081-2)

I. 서 론

위성을 이용한 통신 방식이 최초로 도입된 이래 약 30여년간 위성통신 기술은 비약적인 발전을 거듭하여 현재는 필수적인 통신수단이 되었다. 이에 국내에서도 방송과 통신 서비스를 할 수 있는 무궁화 위성의 발사를 계기로 위성 통신 시대를 맞이하게 되었다. 무궁화 위성 발사는 방송면에서 국내 전역의 난시청 지역을 해소할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 고품질 TV(HDTV) 및 디지털 방송 등의 최첨단 방송 기술이 상용화되는 계기를 마련하였다. 또한 통신분야에서는 무선멀티미디어, 무선이동통신 등과 같은 고도의 정보서비스 제공을 위한 기반 조성과 관련 산업에 대한 막대한 과급효과를 유도하였다.

1980년대 이후 반도체 소자 제조기술이 발달 하면서 무선 통신 장비의 소형·경량화 추세가 가속화되고 있으며 특히 레이더 및 위성통신의 전송장치내에 가장 중요한 부품중의 하나인 고출력 증폭기는 진행파관(travelling wave tube: TWT)를 이용한 TWTA에서 현재에는 GaAs FET 소자를 사용한 solid state형 전력증폭기로 대체되고 있는 추세이다. GaAs FET를 이용한 전력 증폭기인 SSPA(solid state power amplifier)는 출력 특성에 있어서 선형성이 TWTA보다 우수하며 다중 반송파 전송시 상호변조 및 고조파 왜곡이 작다. 또한 SSPA는 소형·경량 이면서 낮은 동작 전압과 긴 수명 및 유지 보수상의 편리성 등에 장점을 갖는다. [1, 2].

본 논문에서는 무궁화 위성의 상향 통신 주파수인 14.0~14.5 GHz대에서 초고주파용 전송 장치로 사용될 수 있는 solid state형 8W 전력 증폭기를 설계·제작하였다. 본 논문에서 SSPA는 비유전율 2.52, 두께 0.5 mm인 테프론(Teflon) 기판을 사용하여 구동단과 전력 증폭단을 단일 기판상에 집적화하였다. 전력 증폭부를 driving하기 위한 구동단은 2 stage로 구성하였으며 전력 증폭단은 3 stage로 구성하였다.

제작된 전력 증폭기는 14.0~14.5 GHz대역에서 소신호 이득 26 ± 1 dB와 최대 출력전력 39dBm의 선형 증폭특성을 나타냈다.

이러한 측정 결과는 설계 사양과 잘 일치하는 것으로 본 논문에서 제작된 SSPA는 VSAT 및 SCPC 등의 무선 통신 중계기용 고출력 증폭기로 사용될 수 있을 것이다.

II. 전력 증폭기 설계 이론

일반적으로 전력 증폭기의 설계 및 제작에서는 저잡음 증폭기와 같은 소신호 증폭기 설계와는 달리 높은 전력이득 특성을 얻기 위해 설계상의 주의가 필요하다. 전력 증폭기가 고출력 선형 특성을 갖도록 하는데 1개의 power FET로 전력 증폭단을 구성하기는 불가능하며 각 stage의 power gain을 고려한 다단(cascade)연결이 필요하게 된다.

다단 증폭기의 설계는 입·출력 전력의 세기를 고려한 사용소자의 제한에 따라 각 stage별로 소자의 요구 성능에 적합한 개별적인 설계를 해야 한다. 이와 같은 설계 방법에 의해 전체 전력 증폭기는 구동 증폭부와 전력 증폭부의 두 부분으로 나누어 설계할 수 있다.

먼저 구동 증폭부는 대역내에서 고이득 및 높은 선형성과 안정성을 위해 A급 증폭을 하도록 설계한다. 전력 증폭부의 설계에 있어서는 1dB압축점이 매우 중요한 파라미터가 되며 따라서 설계시 1dB압축점으로부터 수 dB 이하 point까지 동작범위를 선택하여 회로가 낮은 왜곡 특성을 나타내도록 해야 한다. 특히 전력 증폭기 설계 및 제작에 있어서는 power 소자의 모델링 파라미터가 신호전력 레벨 및 주파수에 따라 비선형특성이 나타나는 것에 주의하여 증폭기 설계시 이러한 파라미터를 고려한 비선형 설계를 해야 한다. 그러나 FET소자에 대한 비선형 모델링 계수를 측정하는데에는 고가의 장비 확보를 필요로 할 뿐 아니라 측정 방법상에도 많은 노력이 요구된다. 따라서 본 연구에

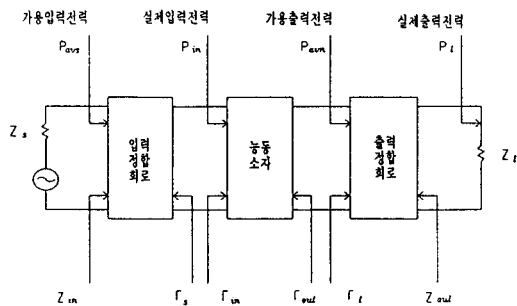
서는 FET 소자의 제작회사로부터 제공하는 선형 계수를 근거로 증폭기를 설계하였다[3, 4].

2-1. 구동 증폭단의 설계 이론

전력 증폭기를 설계·제작하기 위해서는 먼저 전력 증폭단을 선형적으로 동작시킬 수 있는 구동 증폭단을 설계해야 한다.

전력 증폭기의 구동 증폭단은 일반적인 증폭기 이론으로 설계가 가능하다.

[그림 1]은 임의의 입·출력 임피던스 Z_S , Z_L 에 대한 정합 회로를 갖는 1단 증폭기 설계에 대한 블록도를 나타낸다. [그림 1]에서 $\text{Re}(Z_{in}), \text{Re}(Z_{out}) > 0$ 을 만족하면 증폭기는 주어진 주파수 대역에서 무조건 안정(unconditional stable)하다. 이러한 경우 Smith chart상에 있는 모든 부하들이 안정한 영역에 들어가며 어떠한 입·출력 부하를 택하여도 안정한 동작을 하게 된다. 그러나 $\text{Re}(Z_{in}), \text{Re}(Z_{out}) < 0$ 인 경우 증폭기는 특정 조건에 따라 안정 및 불안정한 영역을 고려해야 하는 조건부 안정(conditional stable)한 상태가 된다. 따라서 이러한 조건부 안정 상태에서는 입·출력 안정도 원을 그려서 안정한 영역에 있는 부하들을 선택한 후 설계해야 한다.



[그림 1] 증폭기 설계 블록도

[Fig. 1] Block diagram of amplifier.

증폭기가 부하에 최대전력을 전달하기 위해서 [그림 1]과 같이 신호원과 능동 소자 그리고 능동소자와 부하 사이에 각각 정합회로가

들어간다. 최대 전력 이득을 갖는 증폭기의 입·출력 복소정합에 필요한 반사계수는 식 (1)과 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Gamma_{SM} = Q_S \left[\frac{B_S \pm \sqrt{B_S^2 - 4|Q_S|^2}}{2|Q_S|^2} \right] \quad (1)$$

$$\Gamma_{LM} = Q_L \left[\frac{B_L \pm \sqrt{B_L^2 - 4|Q_L|^2}}{2|Q_L|^2} \right] \quad (2)$$

여기서 $Q_S = S_{11} - S_{22}^* \Delta$ (3a)

$Q_L = S_{22} - S_{11}^* \Delta$ (3b)

$B_S = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$ (4a)

$B_L = 1 + |L_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$ (4b)

$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$ (5)

이다.

식(1)과 식(2)에서의 B_S 와 B_L 의 값이 +이면 -로, -이면 +로 취한다[4, 5].

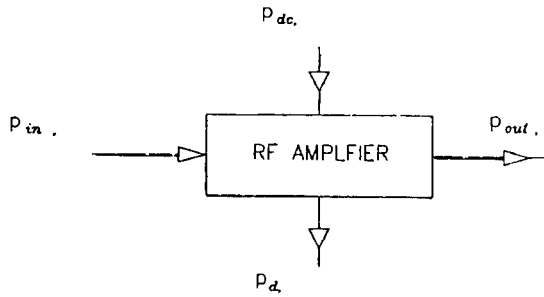
2-2. 전력 증폭기 이론

Power FET를 이용하여 전력 증폭용 협대역 혹은 광대역 증폭기를 설계할 때는 대신호 동작 상태에서의 FET 비선형성을 고려하는 것이 매우 중요하다. 이러한 power GaAs FET의 비선형성은 열역학적으로 증폭기가 DC전력을 RF 전력으로 변화시키는 전력 컨버터라고 가정하는데서 비롯된다. [그림 2]는 전력 증폭기의 열역학 특성을 나타낸다. [그림 2]의 전력 증폭기가 만족해야 할 기본적 열역학 법칙은 식 (6)과 같다.

$$P_{in} + P_{dc} = P_{out} + P_d \quad (6)$$

여기서, P_{in} 은 입력 신호 전력, P_{dc} 는 DC 입력 전력, P_{out} 은 출력 신호 전력, 그리고 P_d 는 손실 전력을 나타낸다.

식 (6)에서 증폭기에 입력되는 신호의 세기는 출력의 세기에 비례함을 알 수 있다. 식 (6)에



[그림 2] RF 증폭기의 열역학적인 표현
 [Fig. 2] Thermodynamic representation of RF amplifier.

서 power gain은 식 (7)과 같이 정의할 수 있다. 또한 식 (6)과 식 (7)에 의해서 식 (8)과 같은 관계가 성립함을 알 수 있다.

$$G = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (7)$$

$$P_d = P_{dc} - (G-1) P_{in} \quad (8)$$

식 (8)에서 이득 G가 1보다 크다면 특정 입력 신호의 세기에 대해서 소모 전력이 negative가 되는 부분이 나타남을 알 수 있다. 그러나 이러한 사실은 현실적으로 불가능하며 실제로는 출력 신호전력이 포화상태에 도달되었음을 의미하는 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 사실로 전력 증폭기는 증폭기의 출력이 선형 동작영역을 넘어서게 되면 증폭기의 이득은 입력의 세기에 반비례하여 감소하게 된다.

즉, 전력 증폭기의 동작특성은 소자의 잡음특성에 기인하여 출력 신호가 1dB 감소되는 점을 넘어서면 비선형 특성 때문에 증폭기의 선형 동작이 제한된다[6, 7].

III. 전력 증폭기 설계 및 제작

본 연구에서는 무궁화 위성의 상향 주파수대인 14~14.5 GHz 대역에서 8W 출력을 갖는 고

출력 증폭기를 설계·제작하였다.

전체 전력 증폭기는 구동 증폭단과 고출력 증폭단의 두 부분으로 나누어서 설계하였으며 DC전원을 인가하기 위한 순차·정류 바이어스 회로를 같은 하우징내에 포함시켰다. 또한 각각의 증폭단은 설계 주파수 범위내에서 선형 동작하도록 하기 위해서 stage별로 2~3dBm 차를 갖도록 설계하였고 전체 소신호 이득은 최소 25dB 이상을 갖도록 하였으며 출력 전력은 8W가 되도록 설계하였다.

특히 본 논문에서는 각 stage의 증폭기들이 앞단으로 갈수록 실제 동작점이 1dB압축점보다 점점 낮도록 설계하여 앞단에서의 비선형특성이 후단에서 증폭되도록 하였다. 이와 같은 설계 기법에 의해 전력 증폭기 동작상에 전체 안정도가 악화될 가능성을 최대한 낮추었으며 또한 각 소자에 안정적인 바이어스 인가를 위해 바이어스 회로는 순차/정류 특성을 갖도록 구성하였다.

고출력 증폭단을 구동시키기 위한 driving 증폭단은 미쯔비사의 MGF2407A를 사용하여 2 stage로 설계하였으며 8W 전력을 갖는 고출력 증폭단은 도시바사의 TIM1414-2, TIM1414-4와 TIM1414-8를 이용하여 3 stage로 구성하였다.

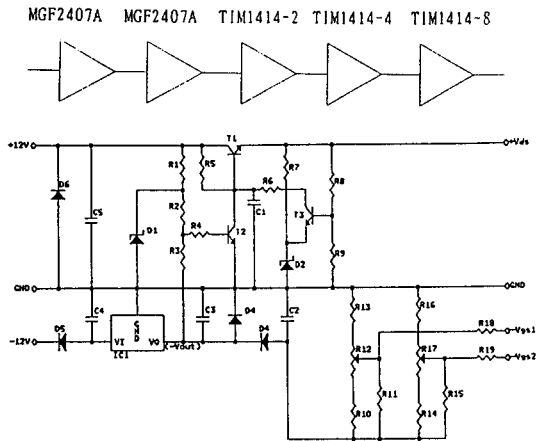
증폭기의 설계에 있어서는 각 증폭단 사이에 삽입되는 DC차단 회로로는 삽입 손실이 많고 해석상의 어려움이 따르는 칩 캐패시터 대신에 마이크로스트립 라인 커플러(microstrip line coupler)구조를 사용하였다. 또한 게이트와 드레인에는 최소 삽입손실을 갖는 RF 초크를 구성하여 원하는 주파수 대역에서 바이어스 인가사 RF신호가 바이어스 라인과 DC전원부로 누출되는 것을 방지하도록 설계하였다.

또한 바이어스 회로는 게이트에 negative voltage가 공급되기 전에는 드레인 전원이 인가되지 않도록 정류/순차 회로로 설계하였다. 이 회로는 각각의 FET에 인가되는 전압 조정을 위해 가변저항(R9, R12, R17)을 이용하였으며 부전압이 인가될 때 바이어스 회로내의 Tr이

동작하는 순차/보호 회로를 구성하였다.

이와 같이 설계 구조에 의하여 전력 증폭기를 비유전율 2.52, 두께 0.5mm의 테프론 기판위에 제작하고 턴도급한 알루미늄 기구물안에 바이어스 회로와 함께 집적화 하였다. 제작시 RF 회로부에는 바이어스 회로와 차폐가 되도록 내벽에 feed through capacitor을 삽입하여 DC원에 의한 spurious 성분이 제거되도록 하였다.

[그림 3]은 2 stage의 구동단과 3 stage의



[그림 3] SSPA 구성도 및 바이어스 회로
[Fig. 3] SSPA block diagram of and bias circuit.

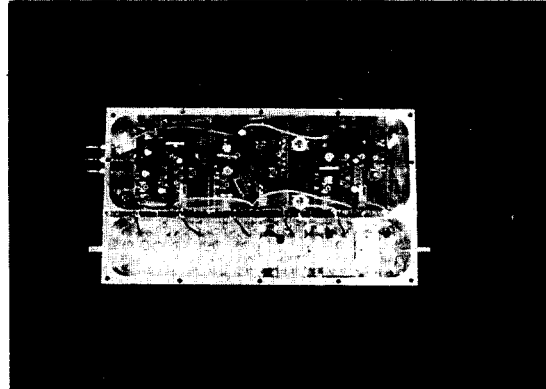
<표 1> SSPA 설계 사양

<Table 1> Design specification of SSPA

| Item Description | Specification |
|-----------------------------|-----------------|
| Frequency band | 14.0 ~ 14.5 GHz |
| Output power | 39 dBm |
| Gain | 25 dB/min |
| Third order intercept point | 45 dBm/min |
| Input return loss | 10dB/min |
| Output return loss | 7dB/min |

고출력 증폭단을 갖는 8W SSPA의 구성을 나타낸다.

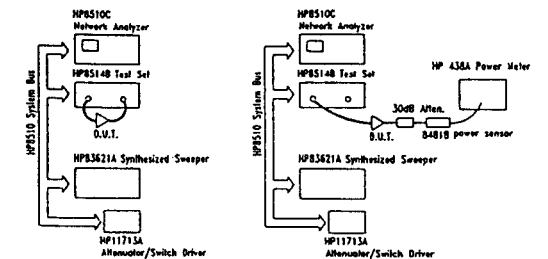
<표 1>은 전력 증폭기 특성을 나타내는 설계 사양이며 [그림 4]는 <표 1>의 특성을 갖도록 제작된 고출력 전력 증폭기를 나타낸다.



[그림 4] 제작된 전력 증폭기 실물도
[Fig. 4] Picture of SSPA.

IV. 측정 및 결과 고찰

전력 증폭기의 측정에는 HP 8510C network analyzer와 HP 838A power meter를 사용하여 측정하였다. [그림 5]는 8W 고출력 증폭기의 특성을 측정하기 위한 측정 장비 set up을 나타낸다.



(a) 전력 증폭기 이득 및 반사손실 측정
(b) 전력 증폭기의 출력 전력 측정

[그림 5] 측정 장비 구성도

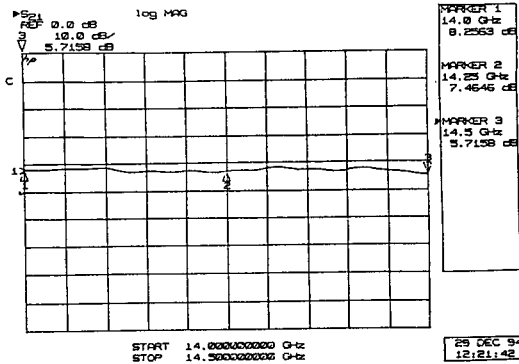
[Fig. 5] Set-up of measurement equipment.

전력 증폭기의 소신호 이득 측정은 network analyzer를 사용하였으며 측정시 장비의 보호를 위해 전력 증폭기의 출력단에 20dB 감쇄기를 삽입하여 측정하였다.

[그림 6]은 SSPA 출력단에 20dB 감쇄기를 부가한 상태에서 측정한 소신호 이득을 나타낸다. [그림 6]에서 증폭기는 14~14.5GHz의 500 MHz 대역에서 26dB 이득과 ± 1 dB의 이득 평탄도를 갖음을 나타낸다.

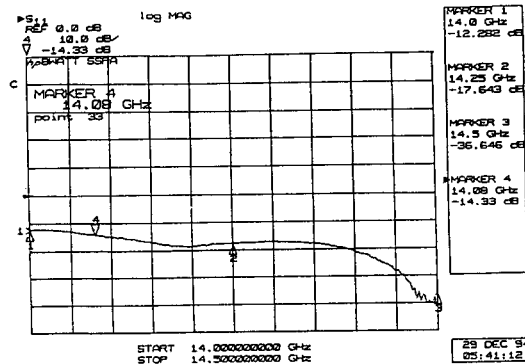
[그림 7]은 출력단에 감쇄기를 장착하고 측정한 입력 반사손실 S_{11} 로서 최소 12dB를 나타냈다.

[그림 8]은 출력 반사손실 S_{22} 를 측정한 것



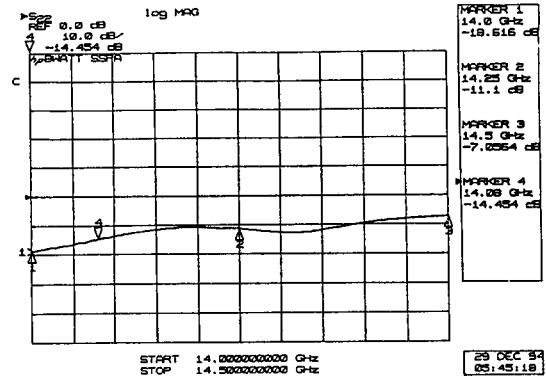
[그림 6] 고출력 증폭기의 소신호 이득

[Fig. 6] Small-signal gain of the SSPA.



[그림 7] 입력 반사손실

[Fig. 7] Input return loss.



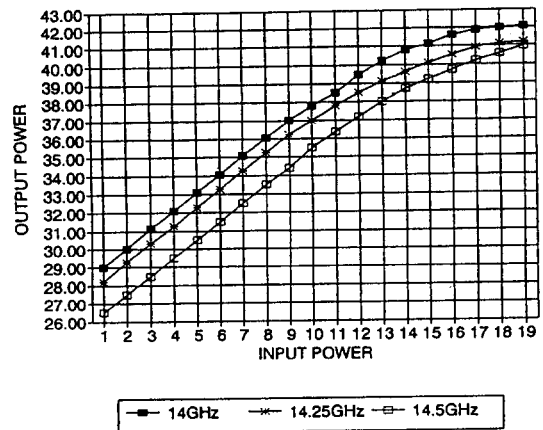
[그림 8] 출력 반사 손실

[Fig. 8] Output return loss.

으로서 설계 사양인 최소 7dB를 만족하였지만 다른 시스템의 안정화를 위해 아이솔레이터가 요구된다.

[그림 9]는 동작 주파수인 14GHz, 14.25GHz, 14.5GHz 주파수에 대한 입력 신호 전력대 출력 신호 전력의 변화를 나타낸다. [그림 9]에서 설계·제작된 고출력 증폭기의 대역폭내 각 주파수에 대한 1 dB 압축점은 39~39.2dBm로 설계 대역내에서 8W의 출력 전력을 만족함을 알 수 있다.

본 논문에서 제작한 전력증폭기의 전력효율



[그림 9] 전력 증폭기의 입출력 전달 특성

[Fig. 9] Pin/Pout transfer characteristics.

〈표 2〉 SSPA 설계 사양과 측정 결과 비교

〈Table 2〉 Comparison of SSPA's design spec. with measurement result

| Item Description | Specification | |
|---|----------------|---|
| | 설계사양 | 측정결과 |
| Frequency band | 14.0 ~14.5 GHz | 14.0 ~14.5 GHz |
| Output power | 39 dBm/min | 39 dBm/min |
| Gain | 25dB/min | 26dB±1dB |
| Third order intercept point (measured at P _{1dB}) | 45 dBm/min | 49.0 dBm @14.0 GHz 49.1 dBm @14.25 GHz 49.2 dBm @14.5 GHz |
| Input return loss | 10dB/min | 12dB/min |
| Output return loss | 7dB/min | 7dB/min |

(power added efficiency)은 동작 주파수 14.25 GHz의 1dB 압축점에서 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\eta = \frac{P_o - P_i}{P_{dc}} \times 100 = \frac{26.2}{92} \times 100 \cong 28 \quad (9)$$

여기서 P_o 는 RF 출력 전력, P_i 는 RF입력 전력, P_{dc} 는 직류전력을 나타낸다.

〈표 2〉는 고출력 증폭기의 설계사양과 측정 결과를 비교한 것이다. 〈표 2〉에서 설계·제작한 고출력 증폭기는 14.0~14.5GHz 주파수대역에서 26±1dB의 소신호 이득과 12dB의 입력 반사손실 및 7dB 이상의 출력 반사손실을 나타냈으며 출력 power도 설계 대역내에서 39.0~39.2 dBm의 P1dB 출력으로서 최대 출력 전력 8W를 만족하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 무궁화 위성의 상향통신 주파수인 14.0~14.5 GHz대에서 초고주파용 전송장치로 사용될 수 있는 solid state형 8W 전력 증폭기를 설계·제작하였다. SSPA는 비유전율 2.52, 두께 0.5 mm인 테프론(Teflon) 기판을 사

용하여 구동단과 전력 증폭단을 단일 기판상에 집적화 하였다.

전력 증폭단을 driving하기 위한 구동 증폭단인 1, 2단 증폭기는 MGF2407A를 사용하였으며 전력 증폭단인 3, 4단에는 TIM1414-2와 TIM1414-4를 이용하였다. 최종 전력 증폭단은 TIM1414-8을 사용하여 설계·제작하였다. 각 증폭기는 알루미늄을 턴도금한 하우징내에 정류/순차 바이어스회로와 함께 집적시켰다.

본 논문에서 설계·제작된 전력 증폭기는 14.0~14.5 GHz의 500MHz대역폭내에서 26±1dB의 소신호 이득과 7dB와 12dB이상의 입·출력 반사손실을 각각 나타냈다. 또한 14GHz, 14.25GHz와 14.5GHz 주파수에서 39.0~39.2 dBm의 1dB 압축점 출력전력을 나타냄으로서 설계시 목표로 했던 출력전력 8W를 상회하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김대현, 여인혁, 이두한, 홍의석, “인공위성 중계기용 고출력 전력 증폭기의 구현에 관한 연구”, 한국통신학회 논문지 제 19권 11호, pp. 2228 ~ 2237.
- [2] R. Soarces, “GaAs MESFET Circuit Design,” Artech House, pp. 287 ~ 291,

- 1988.
- [3] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Design," Prentice-Hall, pp. 95 ~ 101, 1984.
- [4] Tri T. Ha, "Solid-State Microwave Amplifier Design," John Wiley, pp. 203 ~ 216, 1981.
- [5] John L. B. Walker, "High-Power GaAs FET Amplifier," Artech House, pp. 128 ~ 134, 1993.
- [6] J. Baucells Boix, "Ku-Band Solid-State Power Amplifier for the New European Satellites," 23rd European microwave conference proceeding, pp. 11-14, 1993.
- [7] T. Edward, "Foundionsm for Microstrip Circuit Design," John Wiley & Sons, pp. 267-276, 1992.

조 창 환



1994년 2월 : 동신대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1996년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 1996년 3월 ~ 현재 : LG 전자부품 연구소 연구원
 [주 관심 분야] MIC 및 MMIC 회로 설계

이 찬 주

1987년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1989년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 1994년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)
 1994년 4월 ~ 현재 : 신홍전문대학 전파통신과 교수
 1996년 4월 ~ 현재 : 독일 Aachen 공대 Post-Doc
 [주 관심 분야] MIC 및 MMIC 회로 설계, 이동통신

홍 의 석

1968년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1973년 9월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1982년 11월 : 독일 Aachen 공대 전자공학과 졸업(공학박사)
 1976년 10월 ~ 1982년 12월 : 독일 Aachen 공대 조교주파 연구소 연구원
 1974년 3월 ~ 1992년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
 1986년 2월 ~ 1987년 2월 : 미국 University of Texas(Austin) 객원교수
 1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
 1989년 1월 ~ 1991년 12월 : 대한전자공학회 편집위원
 1988년 1월 ~ 현재 : 한국통신학회 상임이사
 1988년 3월 ~ 현재 : 국가기술자격제도 전문위원회 전문위원
 1991년 1월 ~ 현재 : 한국전자과학회 평의원
 1991년 3월 ~ 현재 : 통신위성 및 우주산업 연구회 이사
 1993년 3월 ~ 현재 : 국제 기능올림픽 한국위원회 통신기기 심사장
 1994년 6월 ~ 현재 : 사단법인 산학연 협동 연구소 통신분과 위원장
 1994년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 신기술연구소 연구원
 [주 관심 분야] MIC 및 MMIC 회로 설계, Antenna & Propagation 이동 및 위성통신