

Temperature Independent Biasing을 사용한 DTV 중계기용 100Watt급 단위 전력증폭기의 구현

이영섭* · 전중성** · 이석정** · 예병덕*** · 홍창희*

*한국해양대학교 전자통신공학과
**한국해양대학교 부설 산업기술연구소
***한국해양대학교 해사수송과학부

The 100Watt Unit Power Amplifier Using Temperature Independent Biasing for DTV Repeater Application

Young-Sub Lee* · Joong-Sung Jeon** · Seok-Jeong Lee** · Byeong-Duck Ye*** · Chang-Hee Hong*

*Department of Electronics and Communication Engineering, Korea Maritime University
**Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University
***Division of Maritime Transportation Science, Korea Maritime University

요약 : 본 논문에서는 DTV 중계기용 Temperature Independent Biasing을 이용한 100 watt급 단위 전력증폭기를 설계한 후, 제작하였다. 20℃에서 100℃까지의 온도변화에 대하여 단위 전력증폭기의 DC 동작점은 능동 바이어스에 의해서 고정되며, 증폭기의 소모전류의 변화량이 0.6A 이하의 우수한 특성을 얻었다. 제작된 단위 전력증폭기는 12dB 이상의 이득, ± 0.5 dB 이하의 이득 평탄도, DTV 중계 주파수범위(470~806 MHz)에 걸쳐 15dB 이하의 입·출력 반사손실을 나타내었다. 100 watt 단위 전력증폭기는 출력 전력이 100 watt일 때 2MHz의 오프셋에서 32dBc 이상의 상호 변조 왜곡(IMD)을 나타내었다.

핵심용어 : 증폭기, 상호 변조 왜곡, 디지털 TV

Abstract : In this paper, the 100 watt unit power amplifier using temperature independent biasing for DTV (Digital Television) repeater application is designed and fabricated. The DC operation point of this unit power amplifier at temperature variation from 20℃ to 100℃ is fixed by active bias circuit. The variation of current consumption in the 100 watt unit power amplifier has an excellent characteristics of less than 0.6A. The implemented unit power amplifier has the gain over 12dB, the gain flatness of less than 0.5dB and input and output return loss of less than 15dB over the DTV repeater frequency range (470~806MHz). This unit power amplifier yields intermodulation distortion(IMD) of more than 32dBc at 2MHz offset, which satisfies the IMD at output power of 100 watt (50dBm).

Key words : Amplifier, Intermodulation distortion, Digital TV

1. 서론

바이어스(Bias) 회로는 트랜지스터(Transistor)와 다이오드(Diode)에 적절한 동작점 설정을 위하여 전압과 전류를 인가하는데 사용한다. 바이어스 회로는 구성된 소자에 의해 수동 바이어스(Passive bias) 회로와 능동 바이어스(Active bias) 회로로 구분되는데 수동 바이어스 회로는 트랜지스터나 다이오드 등의 능동소자를 사용하지 않고, 수동소자만으로 필요한 전압과 전류를 FET에 공급하는 회로를 말한다. 수동 바이어스 회

로는 간단하게 구현되지만 온도에 따라 동작점이 바뀌는 단점을 가지고 있다. 반면 능동 바이어스 회로는 공급되는 전원이 다소 변하거나 온도 변화와 같은 주위의 환경이 변하더라도 일정한 전압과 전류를 소자에 공급할 수 있도록 트랜지스터나 다이오드 등과 같은 능동 소자를 사용하여 구성된 회로를 말하며 정전압 회로와 정전류 회로로 세분화된다[1], [2].

전력증폭기를 설계하고 제작하기 위해서는 Power Transistor에 적절한 DC 바이어스를 통하여 전원을 공급하는 것이 필요하다. 하지만 높은 출력을 갖는 고출력 전력증폭기의 경우 Power Transistor에서 높은 열이 발생하여 DC 바이어스 전압이 변화된다[3], [4].

본 논문에서는 DTV 주파수 대역 중계기용 단위 전력증폭기를 사용하여 평형증폭기의 형태로 100Watt 단위 전력증폭기를 구현하고, 온도 변화에 상관없이 일정하게 전류를 공급하는

* 정회원, yslee@saracom.net, 051)600-9133
정회원, hongtch@hanara.kmaritime.ac.kr, 051)410-4312
** 정회원, jsjeon@hanara.kmaritime.ac.kr, 051)410-4788
정회원, leesj911@hanbada.kmaritime.ac.kr, 051)410-4787
*** 정회원, byea@hanara.kmaritime.ac.kr, 051)410-4243

바이어스 회로를 만들고자 한다.

3. 능동 바이어스 회로 설계

2. 100W 단위 전력증폭기의 설계

100Watt 단위 전력증폭기에 사용되는 Power Transistor는 Motorola사의 MOSFET인 MRF-372 소자를 사용하여 평형 증폭기 구조로 그림 1과 같이 구성하였다. 한편 사용된 소자의 DC 바이어스점은 $V_{DD}=28V$, $V_{gs}=3.6V$, $I_{DQ}=2A$ 로 선형성을 위하여 A급 증폭기로 설계하였으며, 회로는 유전율 3.38, 두께 32 mil인 Rogers사의 RO4003 기판을 사용하였다. 표 1은 설계할 전력증폭기의 사양이다.

Fig. 2는 출력을 증가시키기 위해 MRF-372를 병렬 연결한 100Watt 단위 전력증폭기의 구성도이다.

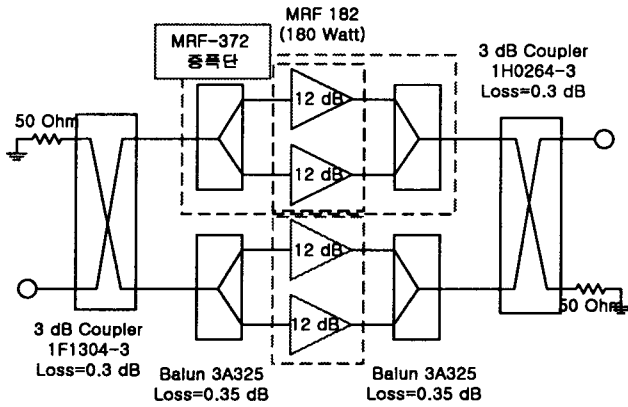


Fig. 1 A block diagram of the 100watt unit power amplifier

Table 1 The specification of 100watt unit power amplifier

항목	사양
주파수	470 ~ 806MHz
이득	12dB
이득편차	$\pm 0.5dB$
입·출력 반사손실	-10dB
IMD	32dBc
이득 안정도	$\pm 1dB$ max. at 20~100°C

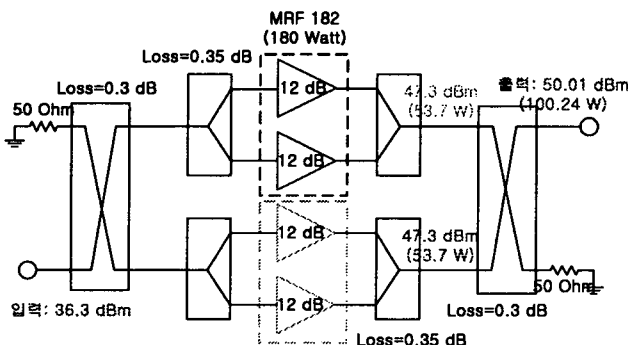
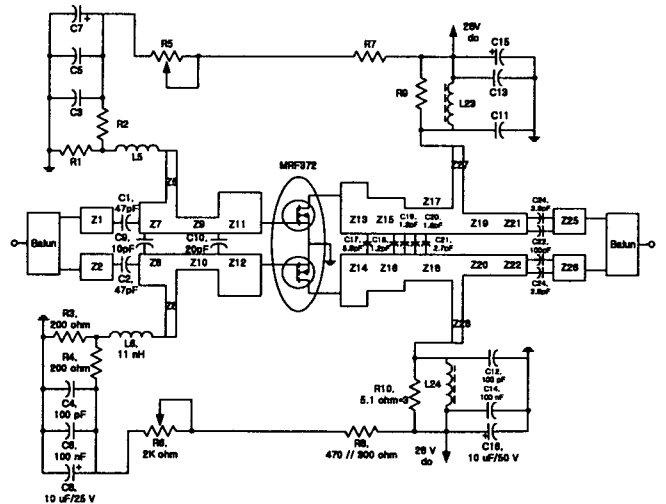


Fig. 2 The output power of the 100watt unit power amplifier

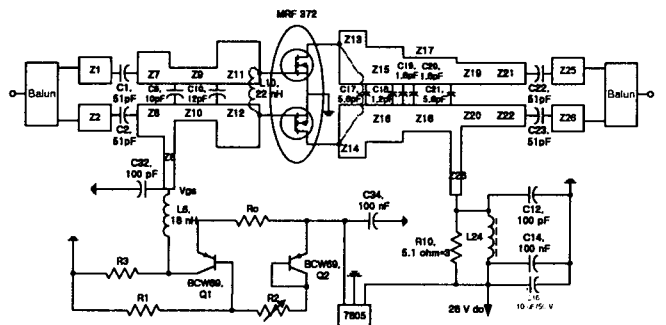
Fig. 3 (a)의 수동 바이어스(Passive bias) 회로는 트랜지스터나 다이오드 등의 능동소자를 사용하지 않고, 저항과 커패시터스와 같은 수동소자만으로 필요한 전압과 전류를 FET에 분배하는 회로를 말한다.

한편 Fig. 3 (b)의 능동 바이어스(Active bias) 회로는 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하였으며, 푸시풀(Push-pull) 형태의 소자에서 흔히 나타나는 위상차에 의한 이득의 감소를 줄이기 위하여 단일 바이어스로 Fig. 3 (b)와 같이 설계하였다.

Fig. 3 (b)의 능동 바이어스 회로는 전류원으로 동작하며 PNP 트랜지스터를 사용하였다. 이 회로에서 R_1 과 R_2 는 PNP 트랜지스터의 바이어스 점(Bias point)을 결정하는 저항 분배기(Resistive divider)의 역할을 한다. R_3 는 어떤 과도한 바이어스 전류에 대해서도 Bleed path를 만들고, 또한 Q_2 는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합은 온도에 의한 전압 변화를 보상하기 위한 것이다. 일반적으로 Q_2 는 바이어스 트랜지스터와 같은 사양을 갖는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합을 사용하며, C-B 접합은 단락하여 사용한다. R_c 는 전류 I_{CS} 를 일정하게 유지하는



(a) A Passive bias circuit



(b) An active bias circuit

Fig. 3 An active bias circuit of the MRF-372 amplifier stage

귀환소자이다. 만약 소자의 전류가 증가하기 시작한다면 R_c 양단의 전압은 증가하고 PNP 트랜지스터의 E-B접합은 Turning off되며 MRF-372에 공급되어지는 바이어스 전압 V_{GS} 는 감소한다. 최적화된 회로의 R_c 양단의 전압강하는 0.5~1.5V가 되어야 한다.

PNP 트랜지스터는 순방향 쌍접합 바이어스(Both junctions forward biased)를 지닌 포화 모드에서 동작하며, 이 트랜지스터의 E-C접합 양단의 전압 강하는 V_{CEsat} 와 같다. 그러므로 V_{cc} 와 V_{GS} 사이 에 필요한 전체 전압 차이는 약 1V 내외이며, 공급전압은 가변저항(R_2)에 의해 조절되며 공급전압을 약 3.6V로 하였다.

포화영역에서 동작하는 PNP 바이어스 트랜지스터의 Side effect는 바이어스회로 동작시 약간의 충전시간과 비동작시에 방전시간이 존재하며, 이 방전시간의 크기는 PNP 트랜지스터의 시정수(Time constants)에 의해 결정된다[5][6].

설계된 바이어스 회로의 타당성을 입증하기 위해 Pspice를 사용하여 설계된 회로를 시뮬레이션하였다. 가변저항 R_2 의 변화(5~400 Ω)에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션한 결과를 Fig. 4에 나타내었으며, Fig. 4에서 알 수 있듯이 가변저항치의 증가에 따라 공급전압은 증가하는 형태이며, 가변저항치 R_2 가 230 Ω 이상 증가할 경우 바이어스 회로가 포화됨을 보여준다.

그리고 바이어스 회로의 온도 특성을 확인하기 위해 공급전압이 4V일 때 온도에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 최저온도(-40 $^{\circ}$ C)에서 최대온도(80 $^{\circ}$ C) 일 때 공급전압은 각각 3.896V, 4.072V이며 온도에 따른 공급전압의 편차는 0.176V로 나타났다.

제작된 MRF-372 증폭단을 회로망 분석기를 이용하여 이득

및 정합특성을 분석하였고, Fig. 6은 470~806MHz의 336MHz 대역에서 12dB(측정시 30dB 감쇠기 부가) 이상의 이득과 ± 0.5 dB의 이득편탄도 및 우수한 위상의 선형성을 보였으며, Fig. 7은 입·출력 반사손실을 나타낸다.

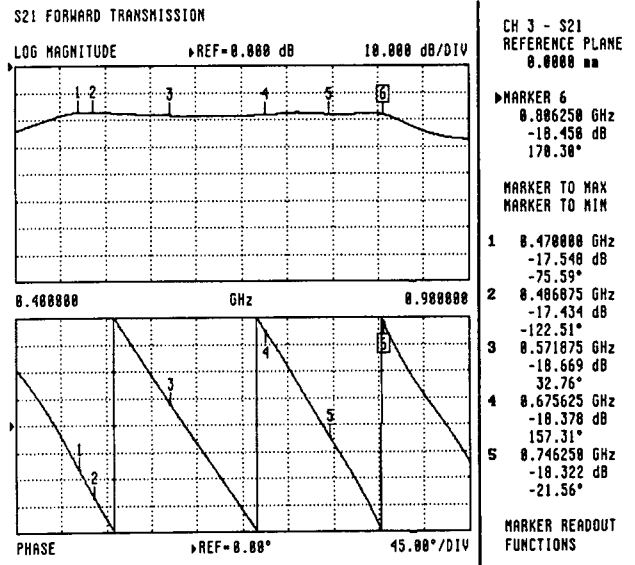
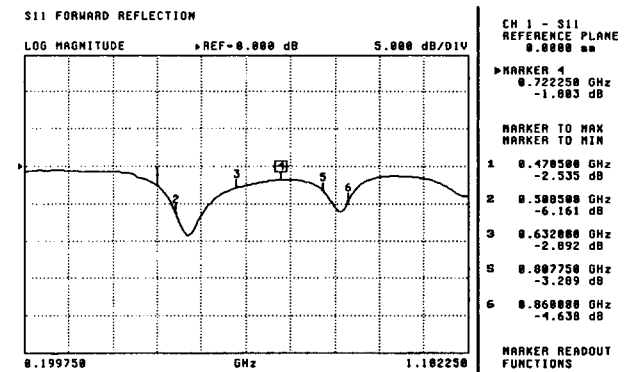
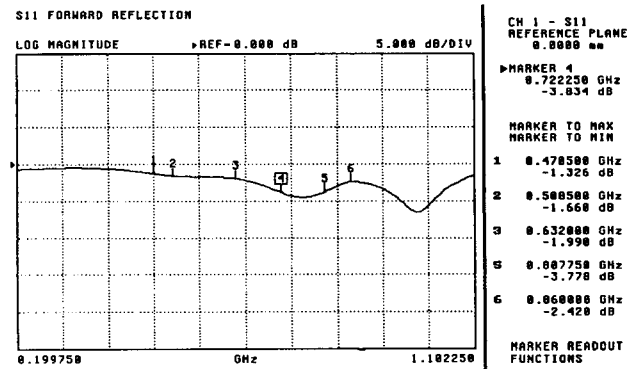


Fig. 6 The gain and phase of the fabricated MRF-372 amplifier stage



(a) The input return loss



(b) The output return loss

Fig. 7 The input and output return loss of the fabricated MRF-372 amplifier stage

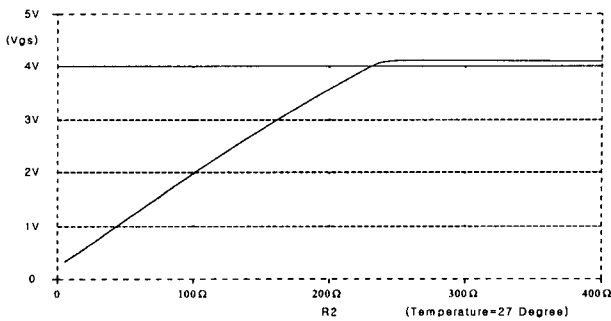


Fig. 4 The variable resistor vs. V_{GS} voltage

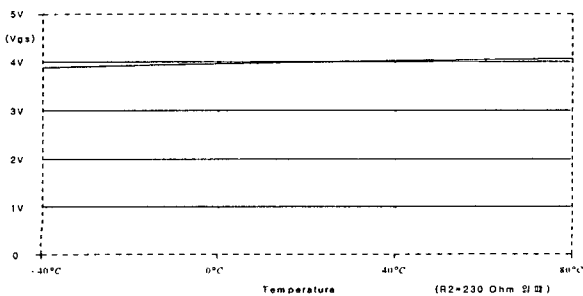


Fig. 5 The V_{GS} voltage over temperature

4. 특성 측정 및 평가

회로의 동작은 MRF-372에 +3.6V DC의 게이트 전압과 +28V DC 전압을 공급하여, 회로망 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 분석하였다. Fig. 8은 MRF-372를 사용하여 제작한 100Watt 단위 전력증폭기의 소신호 이득 및 위상 특성을 나타내며, 470~806MHz 주파수 대역에서 12dB(측정시 30dB 감쇠기 부가)의 이득 및 ±0.5dB의 이득 평탄도를 나타낸다. Fig. 9는 제작된 100Watt 단위 증폭기는 15dB 이하의 입·출력 반사손실을 나타내었다.

또한 Two-tone 신호가 증폭기에 입력되었을 때, 증폭기 출력에서 두 간섭 신호에 의해 발생하는 상호 변조 왜곡 특성을 Fig. 10과 같은 구성으로 측정하여 전송신호의 품질에 증폭기의 비선형성이 미치는 영향의 정도를 추정하였다.

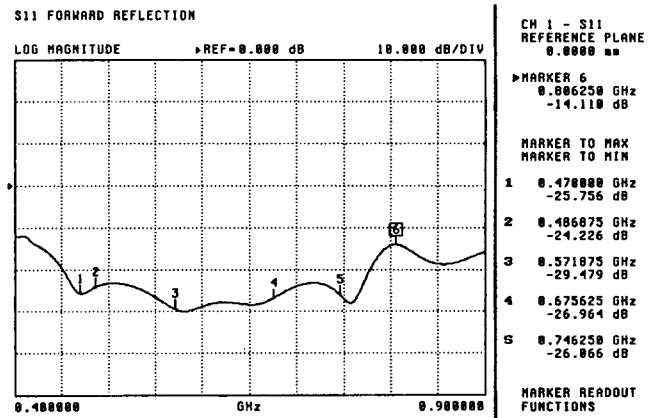
Fig. 11은 470~806MHz 대역에서 2MHz 주파수 간격의 상호 변조 왜곡 특성이 40dBc인 전치증폭기(Preamplifier)를 사용하여 2MHz 주파수 간격의 두 신호를 제작된 100Watt단위 전력증폭기에 입력할 때 상호 변조 왜곡 특성의 측정결과를 보여주며, 사용주파수 대역에서 32dBc 이하의 우수한 특성을 나타내며, Fig. 12는 그때의 출력전력을dBm 단위로 나타내었다.

위의 실험결과는 100Watt급 단위 전력증폭기의 자체 특성만을 보기 위해서는 신호발생기 2대를 100Watt급 증폭기에 전치증폭기 없이 측정하여야 하나 본 실험에서는 전체시스템의 일부분이라는 의미에서 전치증폭기를 그대로 이용하였다. 따라서 자체만의 특성을 볼 때는 IMD 레벨이 보이지 않았으나 전치증폭기의 존재로 인해서 50dBm의 출력전력에도 IMD레벨이 32dBc 정도 있음을 알 수 있다.

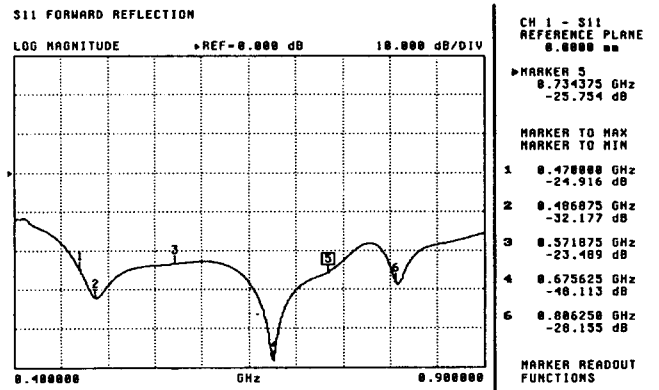
제작된 100Watt단위 전력증폭기의 P_{1dB} 입력레벨 측정에는 MRF-372를 사용한 증폭단에 $V_{gs}=3.6V$, $V_{ds}=28V$ 를 인가하였을 때 100Watt 단위 전력증폭기의 P_{1dB} 는 48dBm을 나타내었다.

제작된 100Watt 단위 전력증폭기의 온도에 따른 전류량의 변화를 Fig. 13에 도시하였다. 수동 바이어스의 경우 온도가 올

라감에 따라 Drain 전류가 증가하고, 증폭기의 온도가 100℃일 때 소모전류가 8A 까지 증가함을 알 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 트랜지스터의 V_{bc} 가 온도에 따라 감소하는 특성을 이용하여 온도가 증가함에 따라 게이트 전압을 낮추는 능동 바이어스를 만들었다. 능동바이어스를 사용하여 제작된 100 Watt 단위 전력증폭기의 온도가 20℃~100℃까지 변할 때, 전류량의 변화가 0.6A 이하인 결과를 얻었다. Fig. 13은 능동 바이어스 및 수동 바이어스 회로로 DC 전력을 공급하였을 때 온도에 따른 전류소비를 도시하였다.



(a) The input return loss



(b) The output return loss

Fig. 9 The input and output return loss of the fabricated 100watt unit power amplifier

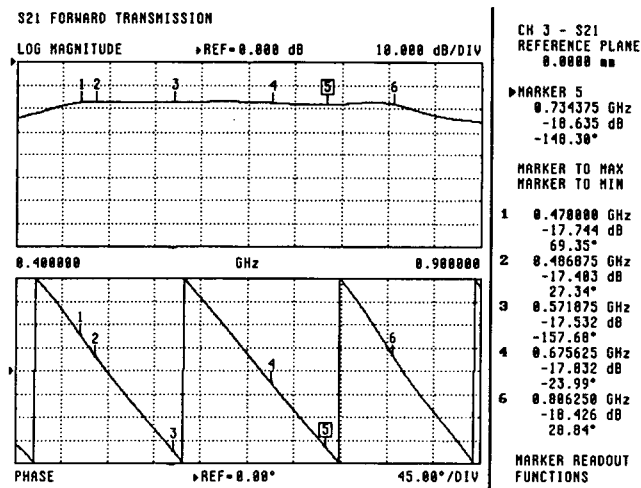


Fig. 8 The gain and phase characteristics of the fabricated 100watt unit power amplifier

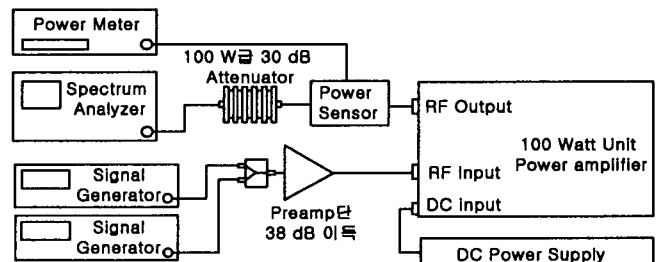


Fig. 10 The 100watt unit power amplifier measuring system for IMD using spectrum

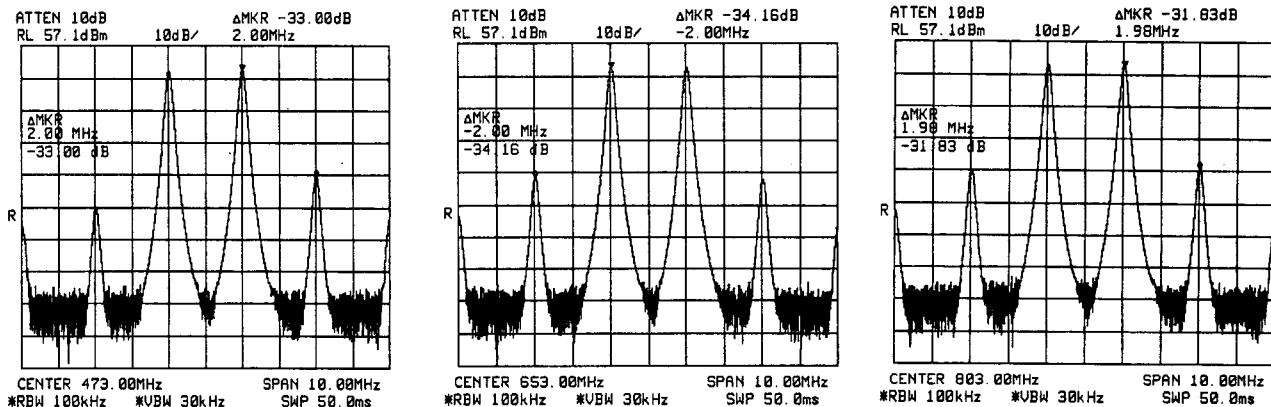


Fig. 11 The intermodulation characteristics of the fabricated the 100watt unit power amplifier

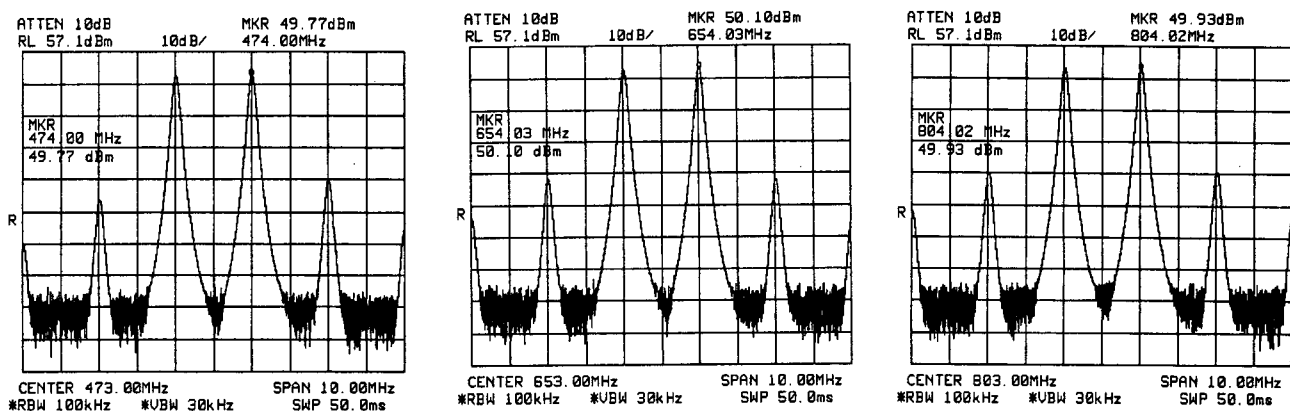


Fig. 12 The output power of the fabricated the 100watt unit power amplifier

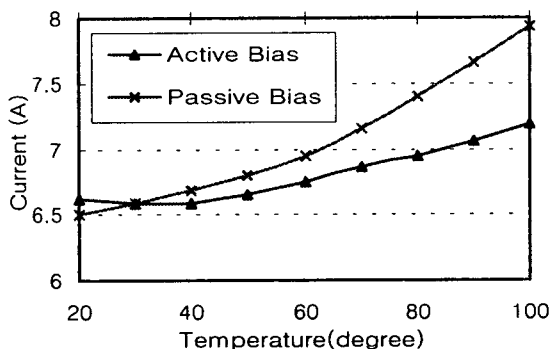


Fig. 13 A current consumption of the fabricated the 100 watt unit power amplifier

5. 결 론

본 논문에서는 DTV 주파수 대역 증계기용 단위 전력증폭기를 사용하여 평형증폭기의 형태로 100Watt 단위 전력증폭기를 설계 및 제작하였으며, 온도 변화에 따른 전류소모 변화를 측정하여 온도 변화에도 거의 일정한 전류를 공급하는 능동 바이어스 회로를 구현하였다.

제작된 100Watt 단위 전력증폭기는 470~806MHz 주파수 대역에서 12dB(측정시 30dB 감쇠기 부가)의 이득 및 ±0.5dB의 이득 평단도 및 15dB 이하의 입·출력 손실을 나타내었다.

주파수 470~806MHz 대역에서 2MHz 주파수 간격의 상호 변조 왜곡 특성이 40dBc인 전치증폭기를 사용하여 2MHz 주파수 간격의 두 신호를 100Watt단위 전력증폭기에 입력할 때 상호 변조 왜곡 특성이 336MHz 대역에서 32dBc 이하의 우수한 특성을 보였다. 또한 능동 바이어스 회로를 이용한 100 Watt 단위 전력증폭기는 온도 20°C~100°C까지 소비전류를 측정할 결과 0.6A의 미소한 전류변화를 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 학술진흥재단 중점연구소 지원사업에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Paul R. Gray(1993), Robert G. Meyer, Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, John Wiley & Sons, pp. 333-346.

- [2] K. E. Kuijk(June 1973), A Precision Reference Voltage Source, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-6, pp. 222-226.
- [3] John L. B. Walker(1993), High Power GaAs FET Amplifier, Artech House, pp. 315-351.
- [4] S. Cripps(1996), RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Boston, MA, Artech House, pp. 179-218.
- [5] Peter C.L. Yip(1991), High-Frequency Circuit Design and Measurements, pp. 85-86, Chapman & Hill.
- [6] 전중성, 임종근, 김동일, 김기문(2001, 3월), INMARSAT-B형 위성통신용 광대역 수신단 구현 및 성능평가에 관한 연구, 한국해양정보통신학회 논문지, 제5권, 제 1호, pp. 166~172.

원고접수일 : 2002년 04월 29일

원고채택일 : 2002년 06월 03일