

RF 전력 증폭기의 온도 변화에 따른 Drain 전류변동 억제를 위한 능동 바이어스 회로의 구현 및 특성 측정

조희제* · 전중성** · 심준환* · 강인호* · 예병덕*** · 홍창희*

* 한국해양대학교 전자·정보통신공학부
** 한국해양대학교 부설 산업기술연구소
*** 한국해양대학교 해사수송과학부

The RF Power Amplifier Using Active Biasing Circuit for Suppression Drain Current under Variation Temperatur

Hee-Jea Cho* · Joong-Sung Jeon** · Jun-Hwan Sim* · In-Ho Kang* · Byeong-Duck Ye*** ·
Tchang-Hee Hong*

* Dept. of Radio Information and Communication Engineering, Korea Maritime University
** Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University
*** Division of Maritime Transportation Science, Korea Maritime University

요 약 : 본 논문은 초고주파 전력증폭기용 LDMOS(Lateral double-diffused MOS) MRF-21060 소자의 게이트 바이어스 전압을 조절하여 온도 변화에 따른 드레인(Drain) 전류의 변화를 억제하기 위한 PNP 트랜지스터를 사용하여 능동 바이어스 회로를 구현하였다. MRF-21060을 구동하기 위한 방법으로서 AH1과 평형증폭기인 A11을 사용하여 구동 증폭단을 실제 제작하였다.

제작된 5 W 초고주파 전력증폭기는 0 ~ 60 °C까지의 온도변화에 대하여 소모전류 변화량이 수동 바이어스 회로에서 0.5 A로 높은 반면, 능동 바이어스 회로에서는 0.1 A 이하의 우수한 특성을 얻었다. 전력증폭기는 2.11 ~ 2.17 GHz 주파수 대역에서 32 dB 이상의 이득과 ±0.09 dB 이하의 이득 평탄도가 나타났으며, -19 dB 이하의 입·출력 반사손실을 가진다.

핵심용어 : 능동 바이어스 회로, 초고주파 전력증폭기, 평형증폭기, LDMOS

Abstract : In this paper, the power amplifier using active biasing for LDMOS MRF-21060 is designed and fabricated. Driving amplifier using AH1 and parallel power amplifier AH11 is made to drive the LDMOS MRF-21060 power amplifier.

The variation of current consumption in the fabricated 5 Watt power amplifier has an excellent characteristics of less than 0.1 A, whereas passive biasing circuit dissipate more than 0.5 A. The implemented power amplifier has the gain over 12 dB, the gain flatness of less than ±0.09 dB and input and output return loss of less than -19 dB over the frequency range 2.11 ~ 2.17 GHz. The DC operation point of this power amplifier at temperature variation from 0 °C to 60 °C is fixed by active bias circuit.

Key words : Active Biasing Circuit, RF Power Amplifier, Parallel Power Amplifier, LDMOS

1. 서 론

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 회로는 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(Meyer 1993), (Kuijk, 1973).

* hjcho@bada.hhu.ac.kr, 051) 410-4939
* 정회원, hongtch@hanara.kmaritime.ac.kr, 051) 410-4312
* 정회원, ihkang@mail.hhu.ac.kr,
* 정회원, jhsim@mail.hhu.ac.kr, 051) 410-4811
** 정회원, jsjeon@hanara.kmaritime.ac.kr, 051) 410-4788
*** 중신회원, byea@hanara.kmaritime.ac.kr, 051) 410-4243

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(Walker, 1993), (Cripps, 1991).

능동 바이어스로는 다이오드 또는 온도센서를 사용하는 방법과 증폭기와 같은 소자를 미리 형태로 구성하는 방법들이 있다. 하지만 다이오드를 사용하면 전압 변화 범위가 한정적이고, 온도 센서 또는 미리 형태는 구성이 복잡하며, 비용이 많이 소요된다.

본 논문에서는 초고주파 전력증폭기용 LDMOS MRF-21060 소자에서 발생한 열로 인해 변화되는 전력증폭기의 바이어스 전압을 PNP 트랜지스터를 사용하여 저가의 능동 바이어스 회로를 구현하여 전력증폭기의 소모전류 변화량을 최소화 하였다.

2. 구동 증폭단의 구현

RF 전력증폭기에 사용되는 Power Transistor인 Motorola사의 LDMOS MRF-21060 소자가 5 W의 출력신호를 발생시키기 위해서는 입력신호 레벨이 적어도 21 dBm이 되어야 한다. 따라서 MRF-21060을 구동시키기 위한 구동증폭단은 Watkins-Johnson Communications사의 AH1과 평행증폭기로 구현되어야 하는 AH11을 사용하여 2단 증폭기로 설계하였다.

증폭기의 설계에 있어서는 각 증폭단 사이에 삽입되는 DC 차단 회로로는 칩 커패시터를 사용하였다. 또한 드레인 단자에는 최소 삽입손실을 갖는 RF 쇼크를 구성하여 원하는 주파수 대역에서 바이어스 인가시 RF 신호가 바이어스 라인과 DC 전원부로 누출되는 것을 방지하도록 설계하였다.

이와 같은 설계 구조에 의하여 구동증폭단을 비유전율 3.65, 두께 20 mil인 RO4350 기판 위에 제작하고 튼도금한 알루미늄 기구물안에 바이어스 회로와 함께 집적화 하였다. 제작시 RF 회로부의 바이어스 회로에 전원을 공급하기 위하여 내벽에 관통형 커패시터를 삽입하여 DC 전원에 의한 스푸리어스 성분이 제거되도록 하였다.

Fig. 1은 2단 구동증폭단의 구성도이다.

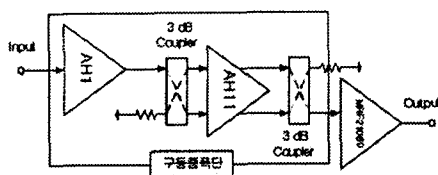


Fig. 1 The schematic of power amplifier

Fig. 2와 Fig.3는 각각 AH1과 AH11의 회로를 나타내었다.

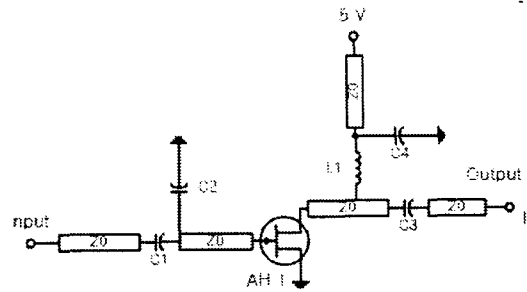


Fig. 2 The circuit of AH1

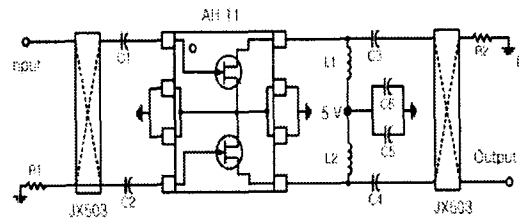


Fig. 3 The circuit of AH11

Fig. 4와 Fig. 5는 중심주파수 2.14 GHz에서의 입력 신호전력 대 출력 신호전력의 변화 및 이득 변화를 나타내며, 제작된 구동증폭단의 AH1과 AH11의 P_{1dB} 입력은 각각 12 dBm과 15 dBm, 이득 변화는 ± 0.5 dB의 특성을 나타내었다. 또한 구동증폭단의 P_{1dB} 입력과 이득을 Fig. 6에 나타내었다.

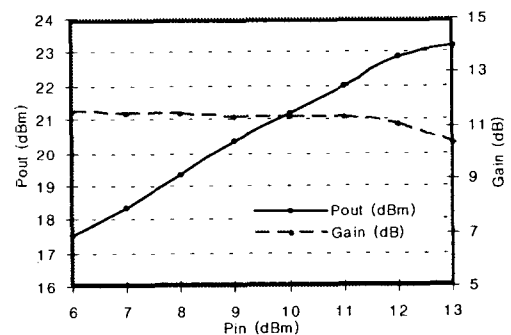


Fig. 4 The characteristics of AH1

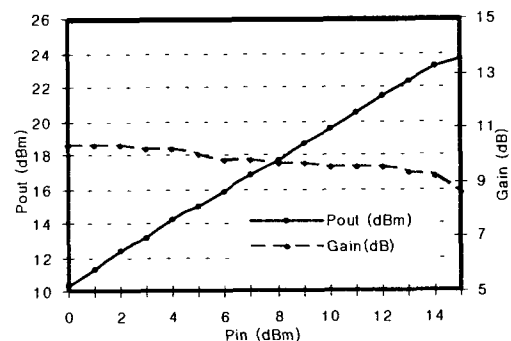


Fig. 5 The characteristics of AH11

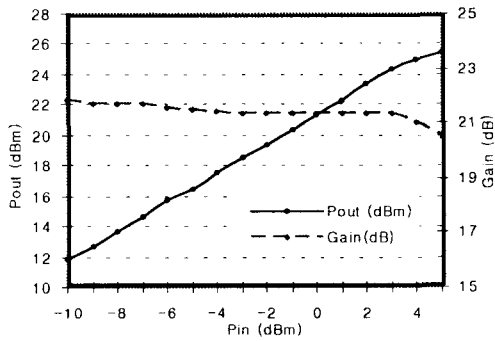
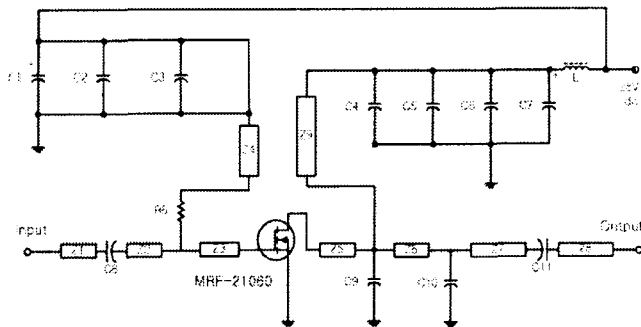


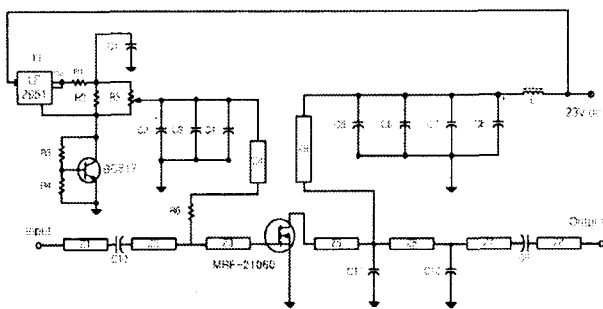
Fig. 6 The characteristics of driving amplifier

3. 능동 바이어스 회로 설계

초고주파 전력 증폭기의 동작은 선형성 및 효율, 이득간의 절충점에서 이루어져야 하는데 이 절충점은 드레인 전류가 최적 값이 되어야만 가능하다. 하지만 온도범위(0 ~ 60 °C), 공급전압, 바이어스 전압의 변화(± 5 %)와 같은 요소들로 인해 바이어스 점이 변화한다. 이러한 현상을 억제하기 위해서 본 논문에서는 Fig. 7 (b)와 같이 PNP 트랜지스터를 사용하여 고주파 전력 증폭 소자인 LDMOS 트랜지스터가 정해진 전류의 최소변화를 가지는 능동 바이어스 회로를 설계하였다.



(a) A Passive bias circuit



(b) An active bias circuit

Fig. 7 An active bias circuit of the MRF-21060 amplifier

Fig. 7 (a)의 수동 바이어스(Passive bias) 회로는 트랜지스터나 다이오드 등의 능동소자를 사용하지 않고, 저항과 커패

시터스와 같은 수동소자 만으로 필요한 전압과 전류를 LDMOS에 분배하는 회로를 말한다.

한편 Fig. 7 (b)의 능동 바이어스(Active bias) 회로는 PNP 트랜지스터를 사용하여 LDMOS 바이어스 전압의 조절로 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하여 설계하였다.

이 회로에서 LP2951은 정전압 트랜지스터로 입력전압 5 ~ 28 V_{dc}일 때 출력전압 5 V_{dc}이고, 20 ppm/°C의 아주 작은 온도계수를 가지고 있어 온도 변화에 따라 출력전압의 변화가 작아 기준전압(V_{ref})으로 사용하기 적합하다. 또한 C₁을 사용하여 LP2951의 발진을 막고 R₁과 저역통과 필터(Low pass filter)를 구성하여 안정적인 직류 전압을 공급하도록 하였다.

일반적으로 LDMOS 소자는 온도상승에 의해 드레인 전류가 증가하는데 이러한 드레인 전류의 변화는 초고주파 신호의 전력 증폭시 신호의 왜곡 현상을 발생시킨다. Fig.8과 같이 BC817 PNP 트랜지스터를 사용하여 온도 변화에 따른 LDMOS의 게이트 전압을 조절함으로써 드레인 전류의 변화를 억제하였다.

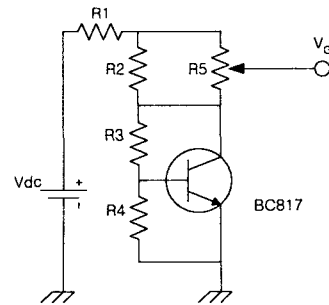


Fig. 8 Temperature compensation circuit

LDMOS의 게이트 바이어스 전압은 가변저항(R₅)에 의해 분배된 레귤레이터의 출력전압과 식 (1)과 같이 표현되어지는 트랜지스터의 콜렉터-에미터 전압 V_{CE}과의 합과 같다.

$$V_{ie} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_{ref} \quad (1)$$

따라서 LDMOS의 게이트 바이어스 전압은 식 (2)와 같이 표현되어 진다.

$$V_{ie} = \frac{R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}} V_{ref} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_{BE} \quad (2)$$

여기서 R_{s1}과 R_{s2}는 가변저항기의 저항 값으로 R_{s2}는 게이트 바이어스 저항 값이다.

상온(25 °C)에서 일정한 드레인 전류를 흐르도록 바이어스 점을 고정하면, 온도 변화에 따른 드레인 전류의 변화는 -2.5 mV/°C의 온도계수를 가지고 있는 트랜지스터의 베이스-에미

터간 전압(V_{BE})에 의해 보상되어 진다.

그러므로 온도 보상은 가변저항과 LDMOS 임계 전압의 제조상의 퍼짐과는 독립적이고, 기준전압의 변화가 없을 경우 $dV_g = dV_{cc}$ 가 된다.

설계된 바이어스 회로의 타당성을 입증하기 위해 P-spice를 사용하여 회로를 상온(25 °C)에서 LDMOS가 바이어스 되도록 분배전압을 저항(R_5)을 변화시켜 시뮬레이션한 결과 Fig.9와 같이 나타났으며 바이어스 전압이 4 V 일 때, 저항값은 $R_{5,1}=700 \Omega$, $R_{5,2}=4.3 \text{ k}\Omega$ 이 최적임을 알 수 있다.

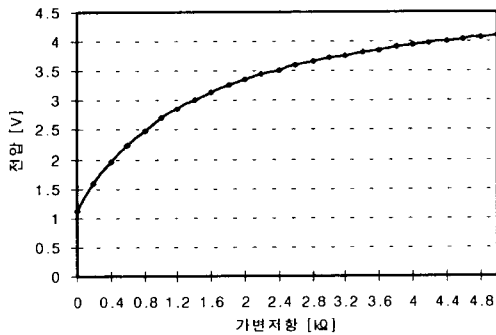


Fig. 9 The simulation results of variation of variable resistor

주어진 분배전압에서 온도를 -20 ~ 80 °C 변화시켰을 때의 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 10과 같다.

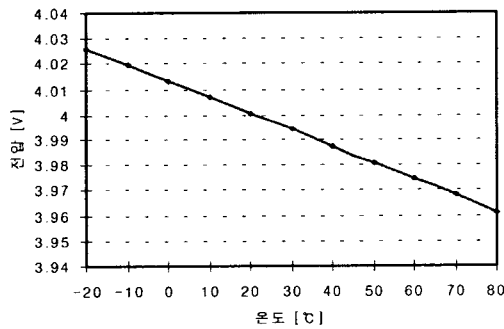
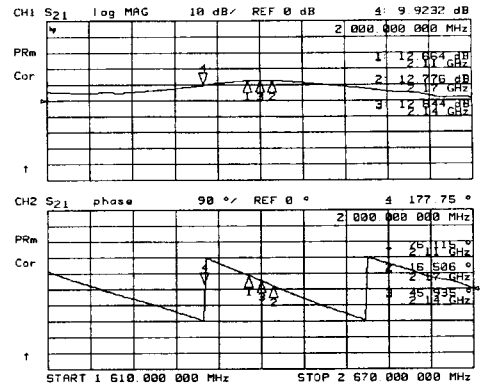


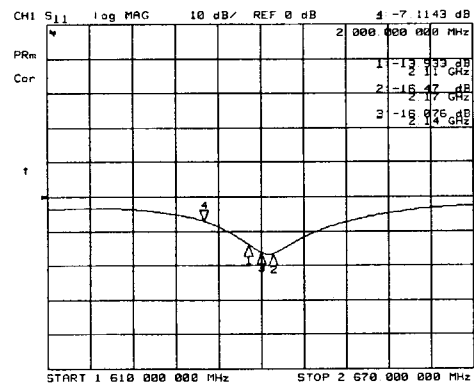
Fig. 10 The Simulation results of variation of temperature

온도가 증가함에 따라 BC817 트랜지스터의 베이스-에미터 전압이 떨어져 LDMOS의 게이트 바이어스 전압이 조절되는 것을 알 수 있다. 이 때, 최저온도(-20 °C)와 최대온도(80 °C)에서 각각 4.025 V, 3.96 V 이며 온도계수는 약 -0.65 mV/°C로 온도상승으로 인한 LDMOS의 전류변화를 억제할 수 있음을 알 수 있다.

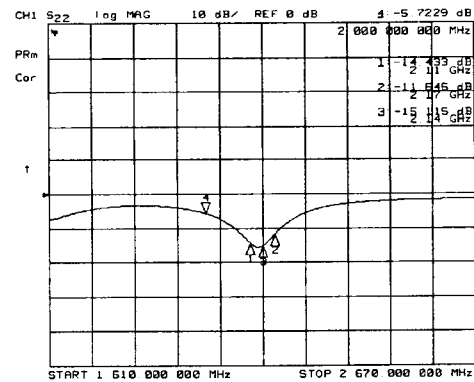
제작된 전력 증폭기에 전압 27 V, 전류 980 mA를 인가하고 0 dBm의 신호를 입력하여 회로망 분석기를 이용하여 이득 및 정합특성을 측정한 결과 Fig.11과 같이 2.11 ~ 2.17 GHz대역에서 12 dB 이상의 이득과 -11 dB 이하의 입·출력 반사손실이 나타났다.



(a) The characteristics of gain and phase



(b) The input return loss



(c) The output return loss

Fig. 11 The gain and return loss characteristics of MRF-21060

4. 특성 측정 및 평가

전력증폭기의 동작은 AH1과 AH11에 5 V DC 전압, MRF-21060에 3.84 V DC의 게이트 전압과 27 V DC 전압을 공급하여, 회로망 분석기를 이용해서 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 분석하였다. 그 결과, 주파수 2.11 ~ 2.17 GHz 대역에서 Fig. 12와 같이 이득은 32 dB(측정시 20 dB 감

최기 부가)이상, 이득 평탄도는 ± 0.09 dB로 나타났고, 입·출력 반사손실은 Fig. 13과 같이 -19 dB 이하를 가진다.

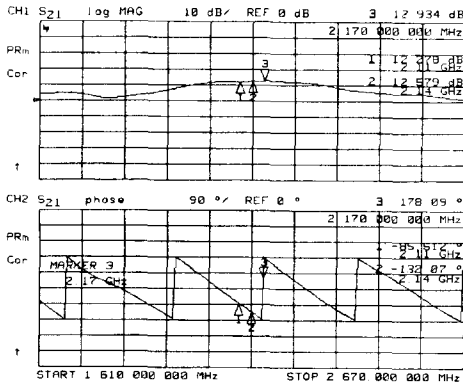
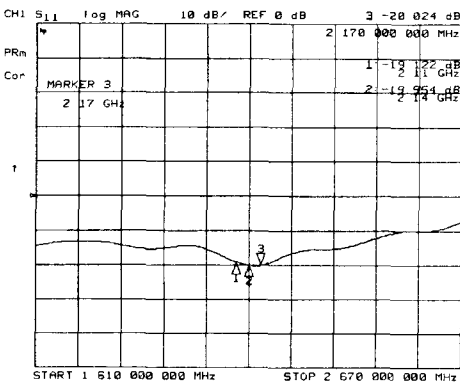
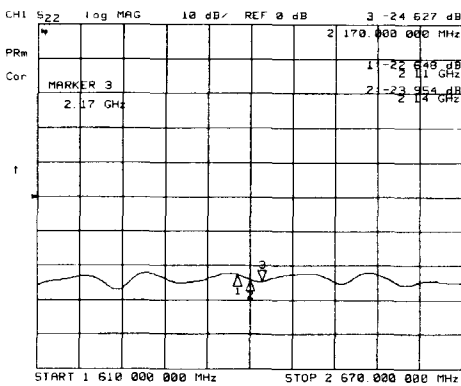


Fig. 12 The gain and phase characteristics of the fabricated power amplifier.



(a) The input return loss.



(b) The output return loss.

Fig. 13 The input and output return loss of the fabricated power amplifier.

제작된 전력증폭기의 온도 및 출력 특성을 측정하기 위하여 Fig. 14와 같이 시스템을 구성하였다.

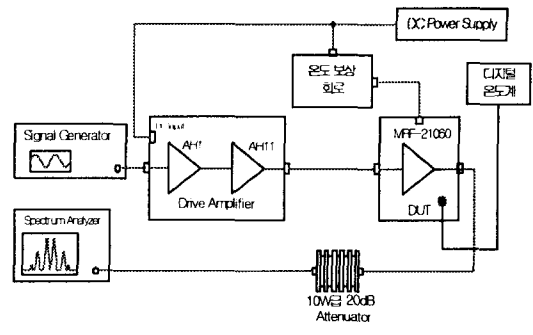


Fig. 14 The measurement system schematic of power amplifier.

초고주파 신호 발생기의 입력레벨을 1 dBm으로 하고 MRF-21060 사용한 증폭단에 $V_{GS}=3.84$ V, $V_{DS}=27$ V를 인가하였을 때 2.11 ~ 2.17 GHz 주파수 대역에서 Fig. 15와 같은 출력 전력이 나타났다.

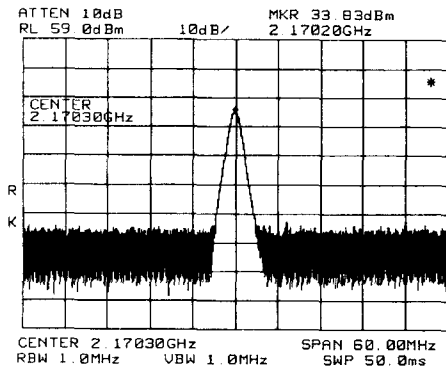
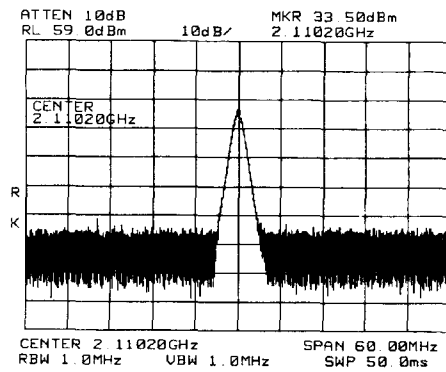


Fig. 15 The output power of the fabricated the power amplifier.

전력증폭기의 시간에 따른 온도 변화와 전류량의 변화를 Fig. 16과 Fig. 17에 나타내었다. 수동 바이어스의 경우 온도가 올라감에 따라 드레인 전류가 증가함을 알 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 트랜지스터의 베이스-에미터 전압 V_{BE} 가 온도에 따라 감소하는 특성을 이용하여 온도가 증가함에 따라 게이트 전압을 낮추는 능동 바이어스를 만들었다. 능동

바이어스를 사용하여 제작된 전력증폭기의 온도가 0 ~ 60 °C 까지 변할 때, 전류량의 변화가 0.1 A 이하인 결과를 얻었다.

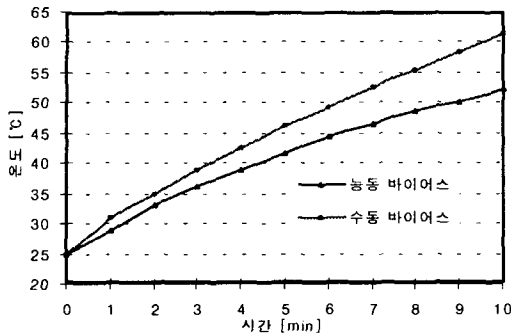


Fig. 16 A temperature consumption of the fabricated the power amplifier.

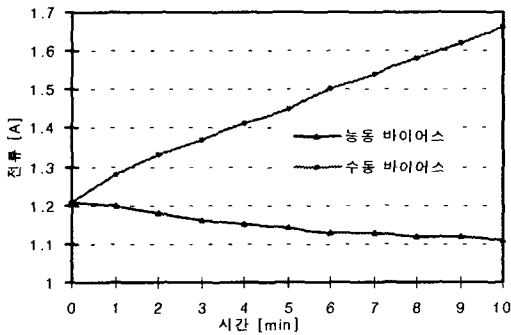


Fig. 17 A current consumption of the fabricated the power amplifier.

5. 결론

본 논문에서는 Motorola사의 LDMOS MRF-21060 소자를 사용하여 2.11 ~ 2.17 GHz 주파수 대역의 전력증폭기를 설계 및 제작하였으며, 온도 변화에 따른 소모전류 변화를 측정 한 후, LDMOS 소자의 게이트 전압을 조절하여 소모전류 변화를 최소화하는 능동 바이어스 회로를 구현 하였으며, 또한 측정을 위한 구동 증폭단을 제작하였다.

제작된 전력증폭기는 2.11 ~ 2.17 GHz 주파수 대역에서 12 dB(측정시 20 dB 감쇠기 부가)이상 의 이득 및 ±0.09 dB의 이득 평단도 및 -19 dB 이하의 입·출력 손실을 나타내었다.

초고주파 신호 발생기에서 1 dBm의 입력 신호를 초고주파 전력 증폭기에 입력하여 출력 신호의 전력과 시간의 흐름에 따른 온도 변화, 소모전류의 변화를 측정하였다. 그 결과 출력 전력은 2.11 GHz와 2.17GHz 각각에서 33.5 dBm, 33.83 dBm 의 출력 전력을 나타냈으며, 온도가 0 °C 에서 60 °C까지 상승 함에 따라 수동 바이어스 회로는 소모전류의 변화가 0.5 A로 높은 반면, 능동 바이어스 회로의 소모전류의 변화는 0.1 A로 낮게 나타났다.

그러므로 본 논문에서 제작된 초고주파 전력 증폭기용 능동 바이어스 회로는 온도에 의한 드레인 전류의 변화를 조절 하는데 효과적임을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호:KRF-2001-005-E00016)

참 고 문 헌

- [1] John L. B. Walker(1993), "High Power GaAs FET Amplifier", Artech House, pp. 315-351.
- [2] K. E. Kuijk(1973), "A Precision Reference Voltage Source," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-6, pp. 222-226.
- [3] Paul R. Gray, Robert G. Meyer(1993), "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits", John Wiley & Sons, pp. 333-346.
- [4] S. Cripps(1991), RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Boston, MA, Artech House, pp. 179-218.

원고접수일 : 2002년 12월 14일

원고채택일 : 2003년 3월 10일