
전력증폭기의 혼변조 규격 만족을 위한 온도보상회로 설계

박원우* · 김병철** · 조경래*** · 이재범***

Design of Temperature Compensation Circuit for Satisfying the Intermodulation Specification of Power Amplifier

Park, Won-woo* · Kim, Byung-chul** · Cho, Kyung-rae*** · Lee Jae-bum***

이 논문은 금오공과대학교 교수연구년제에 의하여 연구된 결과물임

요 약

본 논문에서는 온도센서를 이용한 온도보상회로를 구현하였으며, 이를 이용하여 전력증폭기의 동작 온도범위인 $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 에서 전력증폭기의 혼변조 규격을 만족할 수 있도록 하였다. 온도보상회로의 출력이 온도에 따라 170mV정도 변화하도록 하여 출력이 3W인 증폭기의 TR 게이트에 인가한 결과, $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 에서 우측 3차 혼변조 성분이 $-18.5\sim -26\text{dBm}$, 좌측 3차 혼변조 성분이 $-18.5\sim -35\text{dBm}$ 으로 변화하였으며, 5차 혼변조 성분은 좌·우측 모두 $-24\sim -26\text{dBm}$ 으로 규격인 -17dBm 이하라는 전력증폭기의 혼변조 성분 규격을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Temperature compensation circuit is implemented by using the temperature sensor, and Intermodulation (IM) Specification of Power Amplifier is satisfied in the temperature range of $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ with this temperature compensation circuit. The output voltage of temperature compensation circuit which vary 170mV with the temperature is applied to the gate of TR in 3W output power Amplifier. As the result, right 3rd IM component is $-18.5\sim -26\text{dBm}$, left 3rd IM component is $-18.5\sim -35\text{dBm}$, and the left and right 5th IM component is $-24\sim -26\text{dBm}$ in the temperature range of $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$. It is confirmed that IM specification of power amplifier which is under -17dBm in the whole temperature range is satisfied.

키워드

전력 증폭기, 온도센서, 온도보상회로, 혼변조 특성

key word

Power Amplifier, Temperature Sensor, Temperature Compensation Circuit, Intermodulation Characteristics

* 금오공과대학교 전자공학부 교수

** 금오공과대학교 전자공학부 교수 (bckim@kumoh.ac.kr)

*** 금오공과대학교 전파통신공학과 박사과정

접수일자 : 2010. 07. 08

심사완료일자 : 2010. 07. 28

I. 서 론

이동통신 방식에 상관없이 이동통신 시스템의 최종 단계에는 높은 선형성을 가진 고풍력 증폭기가 사용되고 있으며, 이동통신에서 사용되어지는 전력증폭기에는 두개 이상의 반송파가 인가되고 있으며 전력증폭기의 AM-to-AM과 AM-to-PM 현상에 의한 비선형 특성으로 인해 혼변조 성분들이 발생하게 된다. 이와 같은 전력증폭기의 비선형성을 개선하기 위해서 Back-off방식, feedforward방식, predistortion방식 등이 사용되고 있다 [1]. 그러나 이런 방식들을 이용하여 전력증폭기의 선형성이 규격을 만족해도 주변온도가 변하면 규격을 벗어나게 된다.

이러한 주변온도의 변화에도 규격을 맞춰주기 위해서는 온도보상회로가 필요한데, 온도보상 방법으로는 액티브 바이어스를 이용한 방법, 마이크로프로세서를 이용한 방법, 써미스터를 이용한 방법 등이 사용되고 있다. 그러나 액티브 바이어스를 이용한 온도보상방법은 액티브 바이어스로 사용되는 트랜지스터와 메인 트랜지스터의 온도 특성이 다르기 때문에 정확하게 보상하기가 어렵다는 문제점이 있고, 마이크로프로세서를 이용한 온도보상방법은 회로가 복잡하고 많은 데이터 측정을 해야 하며 마이크로프로세서의 전압 자체도 온도에 따라 변화하므로 정확하게 원하는 전압 값을 TR의 게이트전압으로 인가할 수 없다는 문제점이 있다. 써미스터를 이용한 온도보상 방법은 가격이 저렴하고 회로가 간단하다는 장점이 있으나 온도에 따른 써미스터의 저항 값 변화가 비선형적이라 TR의 게이트에 인가되는 바이어스전압 역시 비선형적이므로 규격을 벗어나는 영역이 생기게 된다.

이와 같은 기존의 온도보상 방법의 장단점을 감안하여 본 논문에서는 온도센서를 이용한 온도보상방법을 제안하고 이를 전력증폭기에 적용하였다. 온도센서는 주변온도를 전압으로 변환해서 출력하는데 출력전압이 온도에 대해 거의 선형적인 변화를 보이므로 온도센서를 이용하여 기존의 온도보상 방법에 비해 구조가 간단하고 데이터 측정양도 적으면서 사용하는 전체 온도범위에서 좀 더 정확하게 온도보상을 할 수 있는 온도보상 회로를 구현하였으며, 이렇게 구현된 온도보상회로를 TR의 바이어스회로에 적용하였다[2].

본 논문에서는 전력증폭기의 혼변조 성분이 온도에 따라 변화하는 형태를 실험적으로 알아내고 게이트 바이어스의 변화에 따른 혼변조 성분의 크기 변화를 토대로 온도보상회로 출력전압의 변화량을 결정하여 전력증폭기의 혼변조 신호가 규격을 만족할 수 있도록 하고자 한다.

II. 센서를 이용한 온도보상회로 설계

2.1 전력 증폭기의 온도특성

CDMA용 3W HPA를 예로 전력증폭기의 규격을 표 1에 제시하였다.

표 1. 전력증폭기의 규격(예)
Table 1. Spec. of power amplifier(example)

항목	규격
주파수 범위	824MHz~849MHz(Rx) 869MHz~894MHz(Tx)
출력 전력	3W avg.(1FA)
이득	40±0.5dB
이득 평탄도 vs 주파수	±0.5dB
이득변동 vs 온도	±1dB
IMD	-17dBm(max.)
Spurious Emission	fc±750KHz=45dBc 이상 fc±1.98MHz=60dBc 이상
VSWR	input : < 1.5:1 output : Isolator include
동작온도	-30℃~60℃
전력 소모	27±1Vdc, 2A(max.)

표 1에 제시된 여러 가지 규격 중 IMD에 관한 규격은 상온에서 만족시키기가 어렵지 않지만 사용온도인 -30℃~60℃의 전 범위에서 만족시키기는 매우 어렵다. 상온에서 전력 증폭기의 혼변조 특성이 규격을 만족하도록 Vgs를 고정하고 주변 온도를 변화시키면 그림 1에 제시된 바와 같이 고온과 저온에서 혼변조 신호의 크기가 큰 폭으로 변화하여 규격을 벗어나는 것을 알 수 있다.

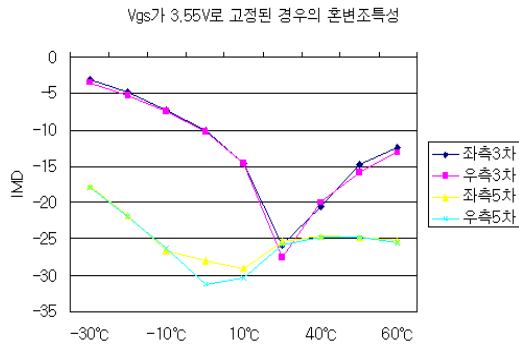


그림 1. 온도에 따른 혼변조 신호의 변화
Fig. 1. Variation of IMD with the change of temperature.

주변온도가 변화할 때에도 전력증폭기의 혼변조 특성이 규격을 만족시킬 수 있으려면 TR의 게이트에 인가되는 바이어스 전압인 V_{gs} 가 온도에 따라 변화해야 한다[3]. 따라서 주변온도의 변화에 대해 V_{gs} 가 어떤 값을 가져야 혼변조 신호의 크기가 규격을 만족할 수 있는지를 알기 위해 표 1에 제시된 바와 같은 특성을 갖는 전력증폭기를 온도에 따라 V_{gs} 를 변화시키면서 3차와 5차 혼변조 신호의 크기 변화를 살펴보았으며, 이를 그림 2와 3에 제시하였다.

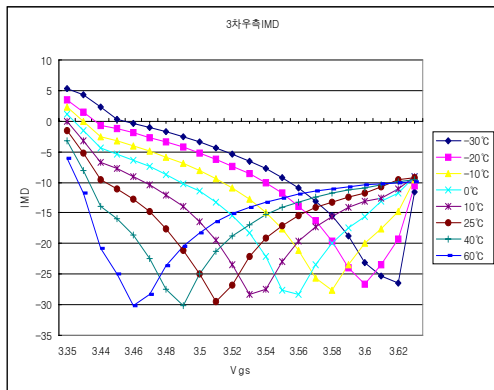


그림 2. 온도와 V_{gs} 에 따른 3차 혼변조 크기의 변화
Fig. 2. Variation of magnitude of 3rd order IMD with the change of temperature and V_{gs} .

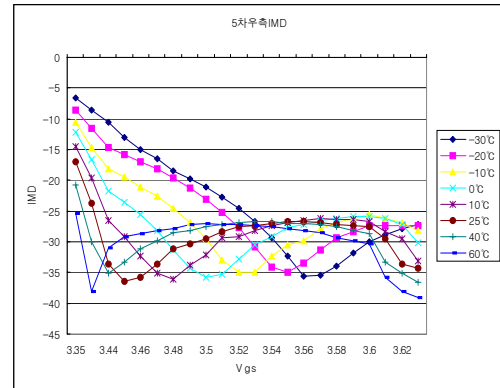


그림 3. 온도와 V_{gs} 에 따른 5차 혼변조 크기의 변화
Fig. 3. Variation of magnitude of 5th order IMD with the change of temperature and V_{gs} .

그림 2와 3에 제시된 바와 같이 온도가 상승하면 게이트 바이어스가 감소해야 혼변조 신호의 크기가 가장 작은 값으로 유지되고, 온도가 하강하면 게이트 바이어스가 증가해야 혼변조 신호의 크기가 가장 작은 값으로 유지되는 것을 알 수 있다. 제작된 전력증폭기에 대해 주변온도가 변해도 혼변조 특성이 규격을 만족할 수 있는 게이트 전압을 측정할 결과 -30°C에서 3.62V, +60°C에서 3.45V로 사용온도 범위 내에서 게이트 전압이 약 170mV 정도 변화를 가져야 하는 것을 알 수 있다.

2.2 온도보상회로의 설계

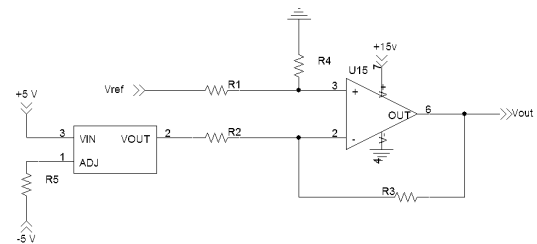


그림 4. 온도보상회로의 회로 구성도
Fig. 4. Circuit diagram of temperature compensation circuit.

그림 4에 OP-AMP를 이용하여 구현한 온도보상회로의 회로도를 나타내었다[4]. 그림 2와 3에 나타난 바와 같이 온도가 증가하면 TR의 게이트 바이어스 전압이 감소하는 형태가 되어야 원하는 혼변조 특성을 갖게 되는

데, 온도센서는 온도가 증가하면 출력전압이 증가하는 특성을 가지므로 그림 4에 제시된 바와 같은 감산기 형태로 사용해야 된다. TR의 게이트에 인가되는 온도보상회로의 출력 V_{gs} 는 식(1)과 같이 표현되는데, 온도변화에 따른 게이트 바이어스 전압의 변화량이 170mV가 되도록 온도보상회로의 저항 값을 결정하였다.

$$V_{gate} = (V_{ref} - V_{LM35}) \times \frac{R_4}{R_1} \quad (1)$$

여기서, 그림 4의 $R_1 = R_2, R_3 = R_4$

사용 온도범위인 $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 에서 TR의 게이트에 인가되는 전압이 3.45~3.62V이고, 온도센서의 출력전압은 1V이하이므로 OP-Amp에 기준전압으로 16.28V를 인가하고 온도센서의 출력전압은 OP-Amp의 -단자에 인가하여 OP-Amp의 출력전압이 TR의 게이트 바이어스 전압으로 인가되도록 하였다. National Semiconductor사의 온도센서인 LM35[5],[6]를 이용하여 구성한 온도보상회로의 출력전압을 측정할 결과를 그림 5에 제시하였다.

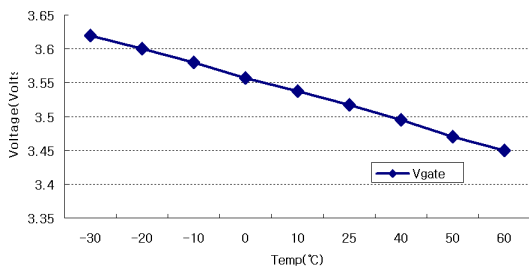


그림 5. 온도보상회로의 출력전압
Fig. 5. Output voltage of temperature compensation circuit.

III. 실험 및 결과

Freescale사의 MRF9045를 최종단 TR로 사용하여 그림 6과 같은 CDMA용 3W급 전력증폭기를 설계·제작하였다.

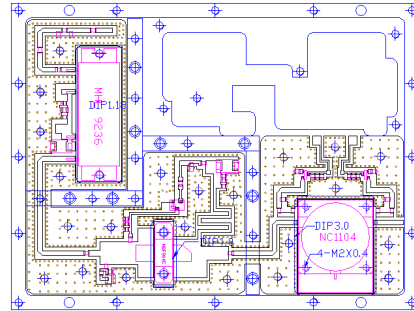


그림 6. 제작된 전력증폭기의 Layout
Fig. 6. Layout of Implemented power amp.

온도보상회로의 출력전압이 170mV 정도 변화하도록 하여 출력이 3W(34.7dBm)인 CDMA용 전력증폭기의 게이트 전압에 인가한 결과 중 25°C , -30°C 와 $+60^{\circ}\text{C}$ 에서의 주파수 특성을 그림 7, 그림 8 및 그림 9에 제시하였다.

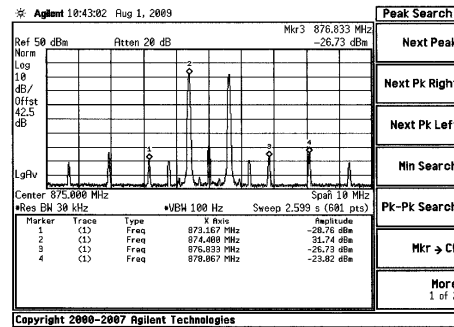


그림 7. 25°C 에서의 주파수 특성
Fig. 7. Frequency characteristics at 25°C

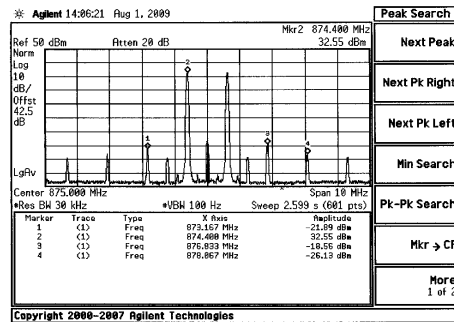


그림 8. -30°C 에서의 주파수 특성
Fig. 8. Frequency characteristics at -30°C

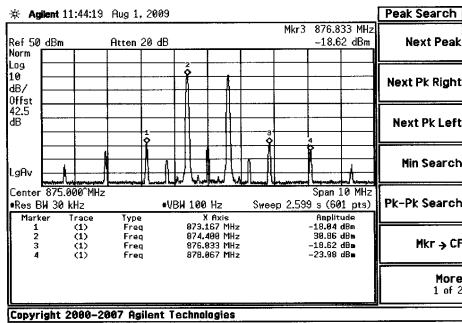


그림 9. 60°C에서의 주파수 특성
Fig. 9. Frequency characteristics at 60°C

그림 7은 상온에서의 특성으로 3차 및 5차 혼변조 신호의 크기가 각각 -26.7dBm, -23.8dBm으로 최대 -17dBm이라는 규격을 충분히 만족하고 있다. 온도센서를 이용하여 온도보상을 한 결과를 그림 8과 9에 제시하였는데, 0°C에서는 3차 혼변조 신호의 크기는 -18.5dBm, 5차 혼변조 신호는 -26.1dBm으로 최대 -17dBm이라는 규격을 벗어나지 않는 것을 알 수 있다. 또, +60°C에서도 3차 혼변조 신호의 크기는 -18.6dBm, 5차 혼변조 신호는 -23.9dBm으로 최대 -17dBm이라는 규격을 벗어나지 않는 것을 알 수 있다.

-30°C~60°C의 온도범위에서 본 논문에서 제안한 온도보상회로를 적용한 경우의 좌우측 3차 혼변조 신호의 크기 변화를 그림 10에 제시하였으며, 좌우측 5차 혼변조 신호의 크기 변화를 그림 11에 제시하였다.

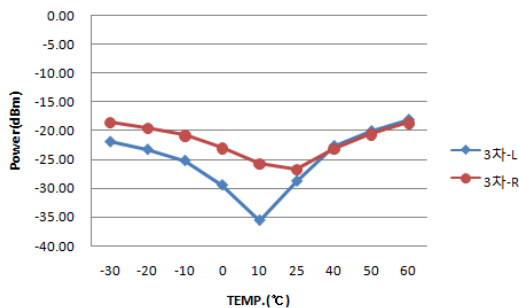


그림 10. 온도에 따른 3차 혼변조 신호의 변화
Fig. 10. Variation of magnitude of 3rd IMD with the change of temperature.

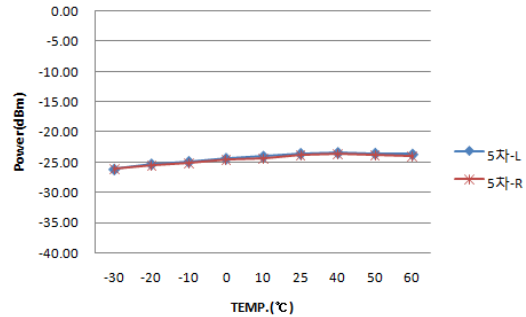


그림 11. 온도에 따른 5차 혼변조 신호의 변화
Fig. 11. Variation of magnitude of 5th IMD with the change of temperature.

그림 10과 그림 11에 제시된 바와 같이 전 온도범위에서 3차 혼변조 신호의 크기는 -18dBm 이하, 5차 혼변조 신호의 크기는 -23dBm 이하가 됨을 확인할 수 있으며, 이는 혼변조 신호의 크기가 -17dBm이하라는 전력증폭기 설계규격을 만족함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 온도센서를 이용하여 온도보상회로를 구성하고, 온도보상회로의 출력전압을 TR 게이트 바이어스 전압으로 인가함으로써 주변온도가 변화해도 전력증폭기의 혼변조 신호가 규격을 만족할 수 있도록 하였다. 기존의 온도보상방법 중 써미스터를 사용한 온도보상회로는 약 0°C~10°C 사이에서 3차 혼변조의 크기가 -17.2dBm으로 규격을 간신히 만족하며, 마이크로프로세서를 이용한 온도보상회로는 전반적으로 3차 혼변조의 크기가 -17.5dBm~20dBm으로 규격을 만족하지는 않지만 거의 규격에 근접한 특성을 보였는데, 본 논문에서 제안한 방법과 같이 온도센서를 이용하여 설계한 온도보상회로는 원하는 출력전압의 변화폭을 맞추기가 쉽고, 온도에 따라 선형적으로 전압이 변화함에 따라 3차 혼변조의 -18dBm~-35 dBm으로 본 논문에서 제시한 방안이 더 우수함을 확인할 수 있었다.

특히, 써미스터를 사용한 온도보상회로를 구현하기 위해서는 적절한 써미스터 값과 저항 값을 찾아내기 위한 실험을 무수히 수행해야 하고, 마이크로프로세서를 이용한 경우는 무수히 많은 데이터를 측정해야 하지만 온도센서를 이용한 온도보상회로의 경우는 -30°C에서

알맞은 전압과 60℃에서 알맞은 전압, 그리고 상온(25℃)에서의 전압만 측정해서 사용해도 전반적으로 거의 대부분 온도에서 혼변조 특성이 규격을 만족하게 할 수 있었다. 온도센서를 이용한 온도보상회로는 구조가 간단하고 가격도 저렴하면서 기존의 온도보상 방법보다 훨씬 정확한 특성제어가 가능하므로 전력증폭기뿐만 아니라 온도의 영향을 받는 다른 소자의 보상에도 응용이 가능할 것으로 본다.

참고문헌

- [1] Nick Pothercary, Feedforward Linear Power Amplifiers, Artech House, 1999.
- [2] 김병철, 황계화, 조경래, 이재범 "VCO의 온도특성 보상을 위한 온도 보상 회로의 설계", 한국전자과학회 논문집, 제21권 제3호 pp. 223- 228, 2010년 3월
- [3] 조경래, "온도 변화에 따른 LDMOS 트랜지스터의 혼변조 신호 특성에 대한 연구", 금오공과대학교 석사 학위논문, 2005.
- [4] Richard C. Dorf and James A. Svoboda, *Introduction to Electric Circuits*, 3rd Ed., John and Wiley Sons Inc., pp. 239, 1996.
- [5] Florin Udrea, Sumita Santra, Julian W.Gardver, "COMS Temperature Sensors-Concepts, State-of-the Art and Prospects", *Proc. IEEE*, vol. 1, pp. 31-40, Oct. 2008.
- [6] Datasheet for LM35, www.national.com

저자소개



박원우(Park, Wonwoo)

1981년 2월: 서강대 전자공학과 학사
1986년 2월: The Univ. of Texas at Austin 석사

1991년 2월: The Univ. of Texas at Austin 박사
1991~1993: 삼성전자 컴퓨터부문 수석연구원
1993~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수
※관심분야: Microwave & RF 회로설계, 컴퓨터 응용시스템 등



김병철(Kim, Byung-chul)

1980년 2월: 서강대 전자공학과 학사
1982년 2월: 서강대 전자공학과 석사

1991년 2월 서강대 전자공학과 박사
1982~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수
※관심분야: Microwave & RF 회로설계



조경래(Cho, Kyungrae)

2004년 2월: 경운대학교 전자공학과 학사
2006년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 석사

2006년 3월~ 현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 박사과정
2007년 2월~현재: (주)디엔알 대표
※관심분야: RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계 등



이재범(Lee, Jaebum)

2007년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 학사
2009년 2월: 금오공과대학교 전파통신공학과 석사

2009년 2월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 박사과정
※관심분야: RF 및 Microwave 회로 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계 등