

이종 철도무선통신장비의 통합을 위한 VHF/UHF 전력증폭기

A VHF/UHF Power Amplifier for Integration of Various Railway Wireless Communication Systems

장동희*[†], 이학용*, 박찬영**, 서봉진**, 박세영***, 김영배***, 조상희***, 차정훈****
 D.H. Jang*[†], H.Y. Lee*, C.Y. Park**, B.J. Seo**, S.Y. Park***, Y.B. Kim***, S.H. Cho***, J.H. Cha****

Abstract In this paper, we propose the VHF/UHF power amplifier for integrating various wireless systems of railway communications. The proposed power amplifier can integrate several power amplifiers, which are used for FM rerun equipment of 88 to 108 MHz, VHF hand-held radio of 146 to 174 MHz, and train wireless protection equipment of 443 MHz. The VHF/UHF power amplifier adopts the GaN HEMT and the negative feedback method for achieving the wide bandwidth characteristics of VHF and UHF. From measurement across the bandwidth of 30 to 500 MHz, an output power over 20 W and power added efficiency over 40 % was obtained. An intermodulation distortion below -37.7 dBc was measured for 2-tone test signal. From the digital predistortion measurements, an IMD reduction over 16.2 dB was obtained.

Keywords : VHF,UHF, Wideband, Power amplifier, System integration

초 록 본 논문에서는 철도에서 사용하는 이종 무선통신장비의 통합을 위해 VHF와 UHF 대역을 지원하는 전력증폭기를 제안하였다. 제안된 전력증폭기를 적용하면 88~108 MHz의 FM 재방송장치와 146~174 MHz의 VHF 무전기와 443 MHz의 열차무선방호장치에 각각 장착된 전력증폭기들을 하나의 전력증폭기로 통합하여 운영할 수 있다. VHF와 UHF 대역을 포함하는 광대역 특성을 얻기 위해 GaN HEMT 소자와 부궤환 방식을 적용하였으며 측정 결과, 광대역 전력 증폭기는 30~500 MHz 대역에서 20 W 이상의 출력 전력과 40 % 이상의 전력 부가 효율을 얻었으며 2-tone 테스트 신호를 적용하여 30~500 MHz 대역에서 -37.7 dBc 이하의 혼변조 왜곡 특성을 얻었다. 또한, 디지털 전치왜곡 선형화기를 적용하여 16.2 dB 이상의 혼변조 왜곡 개선 효과를 얻었다.

주요어 : 초단파, 극초단파, 광대역, 전력증폭기, 장비통합

1. 서 론

철도전용 무선통신망 도입은 사고 예방 및 신속 대응으로 대형 철도 사고, 테러 등에 대한 철도의 보안, 안전성 강화, 철도 도착의 정시성 향상 및 고품질의 여객서비스에 대한 요구 만족 등을 위해 필수적이다. 그러나 국내 철도 안전 관련 무선통신 방식은 노선별로 상이하여 비효율적으로 운영되고 있다. 실제로 관제요원, 열차운전자, 현장유지보수 요원 간 협업이 어려

† 교신저자: (주소노비전 (jdhee4@naver.com))

* (주소노비전

** 케이아이씨시스템즈(주)

*** 서울메트로

**** 부산대학교

위 다양한 문제점이 발생하고 있으며 상이한 철도 무선통신시스템 간 단절 및 불통 현상, 상용망과 기존 철도 무선통신시스템과의 주파수 간섭 및 혼신 등에 따른 철도 운행 중단 및 사고 발생 위험이 존재하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주요 철도 선진국들은 철도 전용 통합무선망을 구축하여 운영 중이거나 구축을 계획하고 있다[1]. LTE-R과 같은 새로운 철도전용 무선통신망을 구축하는 것도 중요하지만 현존하는 88~108 MHz의 FM 재방송장치, 146~174 MHz의 VHF 무전기, 443 MHz의 열차무선방호장치 등을 통합하여 효율적으로 이용하는 것도 중요하다[2]. 이러한 통합 무선통신 시스템은 소프트웨어 정의 무선(Software Defined Radio)으로 구현 가능하며 광대역 RF 전력 증폭기는 핵심적인 하드웨어로 부각되고 있다.

본 논문에서는 평탄화된 이득을 위해 부궤환 선로에 병렬 캐패시터를 추가하고 동축 케이블 발룬을 적용한 푸쉬풀 구조를 적용하여 통합된 시스템에 적합한 30~500 MHz의 동작 주파수를 가지는 20 W 급 전력증폭기를 설계한다. 또한 제안된 설계방법을 토대로 구현한 VHF/UHF 전력증폭기를 디지털 전치왜곡 선형화기와 결합하여 선형성을 확인한다.

2. VHF/UHF 전력증폭기

2.1 부궤환 회로

그림 1과 같이 평탄화된 광대역의 이득을 얻기 위해 부궤환 회로로 구성하였다. 소자의 드레인에서 게이트로 직렬 캐패시터(C_s), 병렬 캐패시터(C_p), 직렬 저항(R)으로 구성하였다.

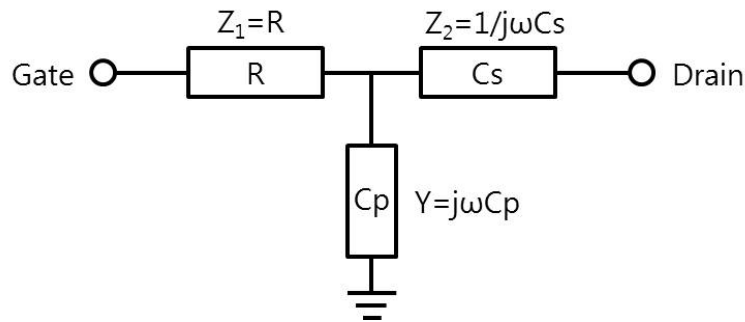


Fig. 1 Proposed negative feedback circuit

제안된 부궤환 회로의 전달계수(S_{21})는 ABCD Matrix 를 사용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{21} = \frac{2}{1 + \left(\frac{C_p}{C_s} + 1 \right) \left(\frac{R}{Z_0} + 1 \right) + j \left\{ \omega C_p (R + Z_0) - \frac{1}{\omega C_s Z_0} \right\}} \quad (1)$$

여기서 Z_0 는 특성 임피던스이며 ω 는 각주파수이다. 일반적으로 주파수가 증가함에 따라 전력 증폭기의 이득은 감소한다. 그러나 부궤환 선로에 병렬 캐패시터(C_p)를 적용함으로써 공진을 조정할 수 있으며 이로 인해 대역폭 및 평탄도가 개선하는 효과를 얻을 수 있다.

2.2 발룬 푸쉬풀 증폭기

그림 2는 발룬 트랜스포머로 구성된 푸쉬풀 구조를 통해서 광대역 2차 하모닉을 제거할 수 있으며 고효율을 얻을 수 있다. 발룬 구성을 통하여 단일 신호를 평행 신호로 변환하거나 그

반대로 변환시킬 수 있기 때문에 고출력을 위한 푸시풀 증폭기 구성에 적합하다. RF 소자의 광대역 매칭을 위해서는 넓은 대역에서 고정된 임피던스를 제공하는 광대역 매칭 소자가 필요하다. 이러한 매칭 소자로는 협대역 매칭에서 사용하는 인덕터, 캐패시터로는 구현하기 어렵다. 본 논문에서는 페라이트 코어와 동축 케이블을 사용한 발룬 임피던스 트랜스포머를 적용하여 넓은 대역에서 고정된 임피던스를 얻을 수 있다[3].

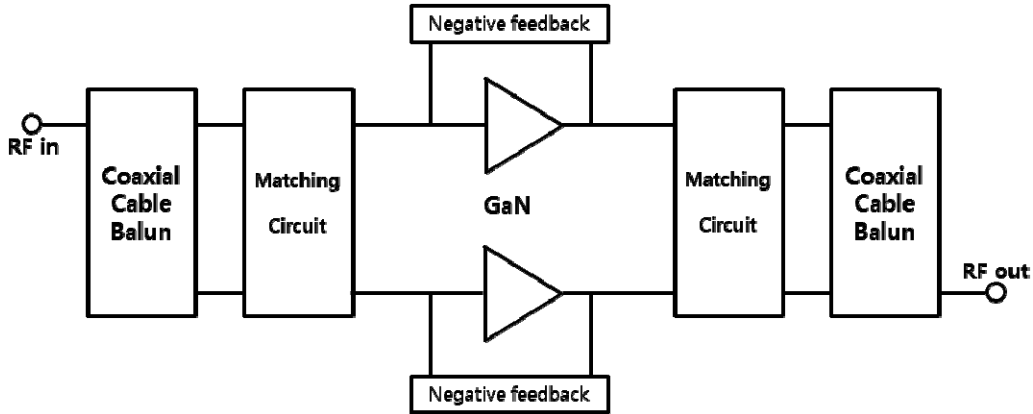


Fig. 2 Push-pull structure of final stage (Bias circuitry omitted)

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 설계 방법을 토대로 VHF/UHF 전력증폭기를 구현하기 위해서 비유전율 3.5, 기판 두께 (h) 0.76 mm, 동판 두께 (t) 35 μm 인 Taconic사의 RF-35 기판 위에 제작하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 VHF/UHF 전력 증폭기를 제작한 실물 사진이다. VHF/UHF 전력증폭기의 구성은 이득단, 구동단, 전력 증폭단, 커플러로 구성되며, 구동단은 Freescale사의 MRF282를, 전력증폭단은 Cree사의 CGH40025P를 사용하였다.

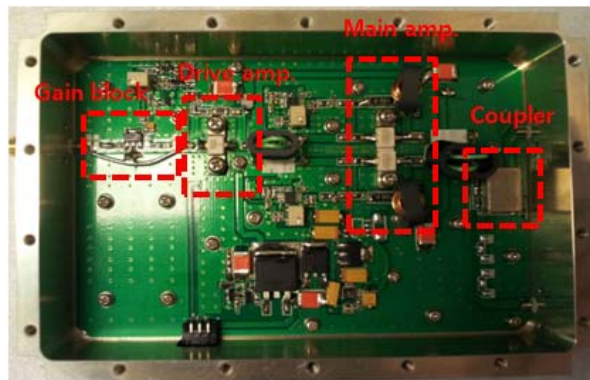
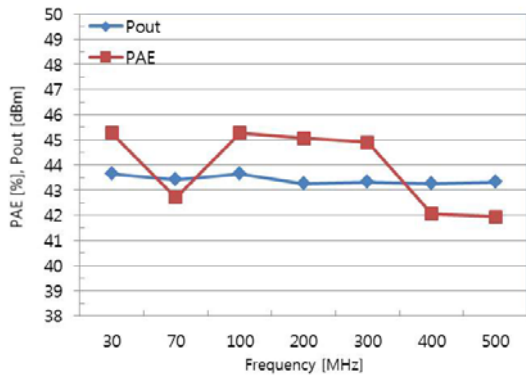
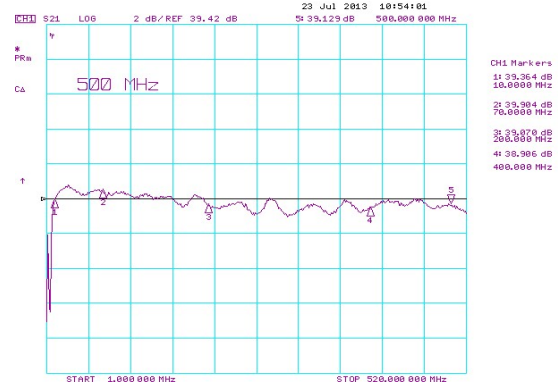


Fig. 3 Photograph of the VHF/UHF power amplifier

그림 4는 VHF/UHF 전력증폭기의 효율과 출력 전력 및 이득 특성을 보여주고 있다. 43 dBn 이상의 출력 전력에서 40 % 이상의 전력 부가 효율을 얻었음을 그림 4(a)에서 볼 수 있다. 그림 4(b)는 네트워크 분석기를 사용하여 VHF/UHF 전력증폭기의 이득 특성(S21)을 나타낸 것으로 30~500 MHz 대역에서 38~40 dB의 이득 특성을 얻었다.



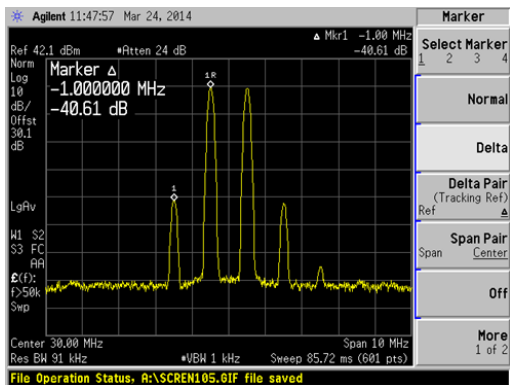
(a) Output power and efficiency characteristics



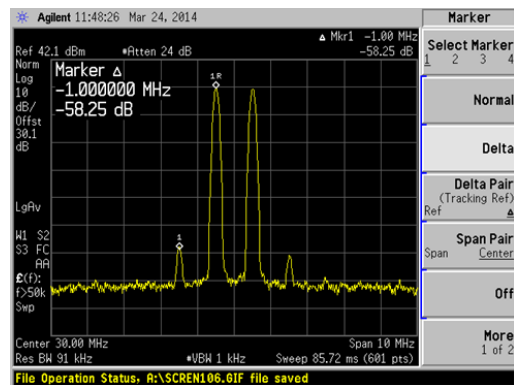
(b) Gain characteristic

Fig. 4 Measured results of the VHF/UHF power amplifier

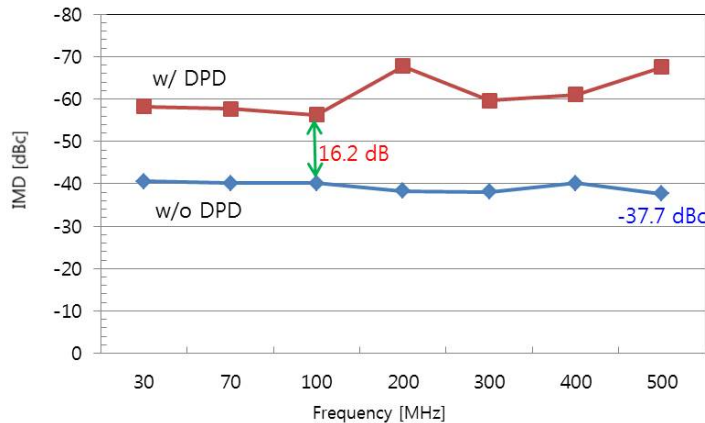
그림 5는 30~500 MHz 대역에서 1-MHz tone 간격을 가진 2-tone 테스트 신호를 입력 신호로 사용한 디지털 전치왜곡 선형화기의 적용 전과 후의 혼변조 왜곡(IMD) 측정 결과이다. 그림 5(a)와 그림 5(b)는 30 MHz 주파수에서 선형화 전후의 혼변조 왜곡 측정 결과를 각각 보여주고 있다. 5 dB 백-오프 전력 38dBm에서 -40.6 dBc의 혼변조 왜곡 결과를 얻을 수 있었으며 디지털 전치왜곡 선형화기 적용 후 약 -58.2 dBc의 혼변조 왜곡 결과를 얻을 수 있었다. 그림 5(c)은 38 dBm 출력 전력에서 디지털 전치왜곡기 선형화기 적용 전과 후의 주파수별 혼변조 왜곡 개선 효과를 보여 주고 있다. 30~500 MHz 대역에서 -37.7 dBc 이하의 혼변조 왜곡 특성을 얻었으며 디지털 전치왜곡 선형화기를 적용하여 16.2 dB 이상의 혼변조 왜곡 개선 효과를 얻었다.



(a) Without DPD (30 MHz)



(b) With DPD (30 MHz)



(c) IMD characteristics with and without DPD

Fig. 5 Measured linearization results of the VHF/UHF power amplifier

표 1은 설계된 VHF/UHF 전력증폭기의 측정 결과를 기존 발표 자료와 함께 비교하였다. 이득 평탄도와 선형성 면에서 좋은 특성을 보였으며, 효율에서도 우수한 성능을 살펴볼 수 있었다.

Table 1 Performance comparison of the characteristics of wideband power amplifiers

Ref	[3]	[4]	This work
Freq. [MHz]	30~512	20~520	30~500
Pout [dBm]	50	50	Over 43
Gain Flatness [dB]	1.8	2	2
PAE [%]	Over 35.7	Over 30	Over 42
IMD [dBc]	-	-	-37.7
Stage	1-stage	-	2-stage

4. 결 론

본 논문에서는 철도에서 사용되는 다양한 무선통신시스템의 통합을 위해 30~500 MHz의 동작 주파수를 가지는 20 W GaN HEMT 전력증폭기를 설계하였다. 평탄화된 이득을 위해 부캐환 선로에 병렬 캐패시터를 추가하고 동축 케이블 발룬을 적용한 푸쉬풀 구조를 적용하였다. 제안된 전력증폭기를 검증하기 위해서 1-tone 및 2-tone 테스트 신호를 사용하였다. 측정 결과, 광대역 전력 증폭기는 30~500 MHz 대역에서 20 W 이상의 출력 전력과 40 % 이상의 전력 부가 효율을 얻었으며 2-tone 테스트 신호를 적용하여 30~500 MHz 대역에서 -37.7 dBc 이하의 혼변조 왜곡 특성을 얻었다. 또한, 디지털 전치왜곡 선형화기를 적용하여 16.2 dB 이상의 혼변조 왜곡 개선 효과를 얻었으며 제안한 설계 방법을 토대로 구현한 VHF/UHF 전력증폭기는 디지털 전치왜곡 선형화기와 결합되어 높은 선형성을 얻을 수 있었다. 제안된 VHF/UHF 전력증폭기는 88~108 MHz의 FM 재방송장치와 146~174 MHz의 VHF 무전기와 443 MHz의 열차무선방호장치에 장착된 각각의 전력증폭기들을 하나의 전력증폭기로 통합할 수 있다.

후 기

본 논문은 미래창조과학부 산업융합원천기술개발사업 철도차량 스마트 운영 관리를 위한 듀얼밴드의 맞춤형 능동형 태그 및 응용 SW 개발 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김사혁 (2013) 철도무선통신망 구축 국내외 현황 및 시사점, *정보통신방송정책*, 25(9), pp. 1-44.
- [2] J.H. Park, S.H. Lee (2013) Implementation of modular 3-band RF for disaster voice communication, *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 13(6), pp. 23-28.
- [3] K.W. Kim, M.C. Seo, J.Y. Cho, S.C. Yoo, et al. (2010) Design of High-Power and High-Efficiency Broadband Amplifier Using 1:4 Transmission Line Transformer, *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 21(2), pp. 121-128.
- [4] CAP Wireless, Custom Amplifier Product, "VHF/ UHF broadband power amplifier-PS7597".