

지상파 디지털방송 송신기의 고전력 증폭기 제작 및 모델링

정회원 이 기 학*, 백 주 기**

Implementation and modeling for Terrestrial Digital Broadcast Transmitter's High Power Amplifier

Ki-Hak Lee*, Joo-Ki Baek** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 지상파 디지털 방송용 송신시스템중 주 전력증폭단을 설계 및 제작하였다. 또한 전력 증폭기의 출력특성을 측정하고 측정된 값을 curve fitting 알고리즘을 이용하여 모델링하였다. 모델링한 전력증폭기의 전력 스펙트럼 특성과 실제 제작하여 측정된 전력증폭기의 전력스펙트럼 값을 비교 하였다.

그 결과 제작한 전력증폭기의 스퓨리어스 특성이 -7.73dB 이고 모델링을 통하여 시뮬레이션 한 값의 전력스펙트럼의 스퓨리어스 특성은 -7.99dB 이었으며 유사함을 확인하였다.

ABSTARCT

In this paper, the high power amplifier is designed and implemented in terrestrial digital broadcast system. The characteristics of high power amplifier is analysis and modelling using curve fitting algorithm. The characteristics of power spectrum density is compare to implemented and modeled power amplifier.

In the result, the suprios characteric of implemented and modelled power amplifier are -7.73dB, -7.99dB, respectively.

I. 서 론

디지털 기술의 발전으로 21세기에는 컴퓨터, 지상파방송, 위성방송, CATV 등의 모든 통신매체를 통합한 멀티미디어 TV 가 출현할 것으로 예상되고 있다. 또한 이동통신이나 무선멀티미디어 등의 수요가 확대되어 지상파 주파수 자원이 고갈되어 가고 있어 신규 무선정보통신 서비스에 보다 많은 대역을 할당해야 하는 문제가 대두되고 있으며 국가적으로도 주파수의 재활당 문제를 고려하지 않을 수 없게 되었다^[1]. 이러한 상황에서 현재 총 20 MHz의 대역을 차지하고 있는 FM 방송이나 총

400MHz의 대역을 차지하고 있는 지상파 TV 방송은 지나치게 넓은 대역을 점유하면서 서비스의 질은 최신의 디지털 미디어에 비해 상대적으로 떨어지고 있다. 이와 같이 지상파 주파수 자원을 절약하고 고품질의 다양한 서비스를 일반 대중에게 제공하기 위해서는 방송미디어의 디지털 기술을 도입하여 지상파 디지털 방송을 실현하는 것이 필요하다^[1].

지상파 디지털 방송시 디지털신호는 아날로그 신호보다 강하여 저 전력으로도 송신이 가능하고 단일 주파수 대역에 복수의 프로그램을 다중화하여 송신할 수 있으며 잡음 등에도 강하여 고품질 고품질의 방송서비스가 가능하다. 또한 양방향통신의 제

* 안양과학기술대학교 전자통신과(1kh0314@aytc.anyang-c.ac.kr)

** 안양과학기술대학교 전자통신과(blj2k3@chollian.net)

논문번호 : 99043-1002

접수일자 : 1999년 10월 2일

공도 가능하게 되고 다원화된 여러 계층의 시청자에게 200~300개 정도의 초 다중채널로 정보를 제공할 수 있게 된다. 미국, 영국, 일본등의 방송기술 선진국에서는 이미 위성방송의 디지털화에 이어 지상파의 디지털 방송계획을 확정하고 표준 기술규격을 확정하는 등 활발한 연구가 진행되고 있다^[3]. 국내에서는 지상파 디지털방송을 실현하기 위한 방식으로 정통부가 1997년 말에 TV 방송방식을 ATSC (advanced television system committee)방식으로 최종 확정발표하였으며 지상파 전송방식은 VSB (vestigial sideband) 방식을 확정 발표하였다. ATSC 방식의 채널폭은 6MHz 로서 국내 TV 방송방식과 동일하여 채널폭의 조정없이도 주파수 할당이 쉽다는 장점을 가지고 있다^[3]. 방송국 송신기에 적용되는 고전력증폭기를 설계하기 위해서는 소자의 선택뿐만 아니라 시뮬레이션 하기 위한 소자의 라이브러리(library)가 고가일 뿐만 아니라 부정확하여 시뮬레이션 특성과 맞지 않는 경우가 발생하여 시뮬레이션 하기에 많은 어려움이 따르고 있다.

본 논문에서는 지상파 디지털 방송용 송신시스템에 적용하기 위한 송신 전력증폭기의 주 증폭기를 제작하고 그 특성을 추출하여 전력증폭기를 모델링하고 실제 제작하여 측정한 특성과 모델링을 통하여 시뮬레이션한 특성을 비교 분석하였으며 이를 기본으로 전체적인 증폭기의 특성을 실제 제작하여 측정한 특성과 모델링을 통하여 측정한 특성을 비교 분석하였다.

II. 전력증폭기의 설계

전력증폭단의 구성은 그림 2.1과 같이 구성되어 있다^[4]. 전력증폭기의 설계에서 원하는 이득과 출력을 얻기 위해서는 소자의 바이어스 조건 및 입출력 특성에 의한 최적의 입출력 정합회로의 설계가 요구된다.

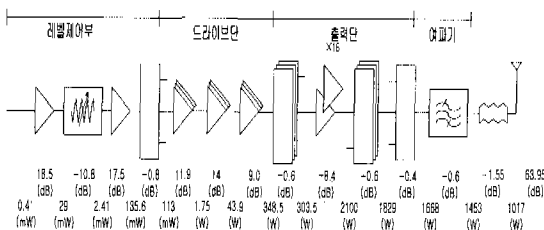


그림 2.1. 전력증폭단의 구성

고주파 증폭기 설계는 특히 소자 자체의 main frequency 특성의 분석하여 이를 이용한 입력 및 출력 정합회로를 설계하였다.

일반적으로 전력증폭기는 모델링을 통하여 최적 임피던스의 초기값을 구하거나, 제조회사로부터 data sheet를 제공받아 이것을 이용하여 load-pull 방법으로 정확한 최적 임출력 임피던스를 구하는 것이 유리하므로 load-pull 방법을 사용하였다^[5].

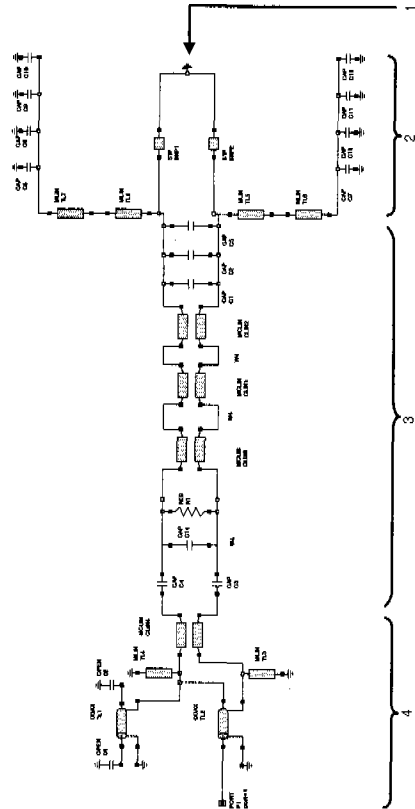


그림 2.2 설계한 주전력증폭기의 입력단 회로도

그림 2.2는 본 논문에서 설계한 주 전력증폭기의 회로도이다. 그림 2.2는 주 증폭기의 입력단에 해당하는 회로이며 각부의 배치는 다음과 같다. 블록 1은 사용 device가 매치 될 곳이며, 블록 2는 bias를 위한 회로이다. 블록 3은 매칭을 위한 회로이며, 블록 4는 밸런스(BALUN ; balance and unbalance)를 사용하여 대역폭을 넓히기 위한 회로도이다. 출력단의 회로도도 입력단의 회로도대칭인 형태로 구성된다. 마이크로스트립 선로를 사용한 정합 회로 설계시 선로의 길이가 길어져 회로의 소형화에 불리한 요소로 작용하므로 저항성 loading을 사용하여

유손실 정합회로를 만들어 대역 특성을 개선하였으며 증폭기가 안정영역에서 동작되도록 하였다. 그러나 역시 이 회로도 손실회로이므로 전력효율이 떨어진다. 매칭회로상의 커패시턴스는 블리킹용으로 사용하였다. 또한 바이어스 회로가 증폭기에서 가장 중요한 부분의 하나로 증폭기가 발진하지 않도록 대역폭의 상하를 억제하기 위한 damping용 저항과 커패시턴스를 조정하였으며 저항을 연결하여 전류의 흐름을 제어할 때 IMD의 특성에도 영향을 미치므로 적절히 조정된 값을 사용하였다. 커패시터가 결정되면 상하의 높고 낮은 커패시터를 첨부하여 발진의 경우에 대비하여 사용하였다.

III. 전력증폭기의 제작 및 측정

본 논문에서 적용한 소자의 특성은 Ericsson 사의 PTB20190이며 이 소자의 특성은 470 MHz에서 806 MHz의 UHF TV 방송대역에 걸쳐 28Vdc로 AB급 동작하는 공동 에미터 NPN형 RF 전력증폭 트랜지스터이다. 사용된 기판은 Rogers 사의 유전률 3.38 두께 32 mils의 Copper Clad를 사용 하였다.

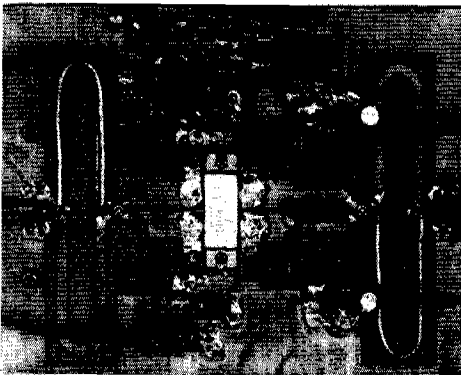


그림 3.1 제작한 증폭기의 실물도

그림 3.1은 제작한 전력증폭기의 실물도를 보인 것으로 왼쪽이 입력단이고 오른쪽이 출력단이다. 입력단의 S_{11} 과 S_{22} 를 측정된 경우이며 이 반사계수의 특성을 살펴보면, S_{11} 이 작아야 되고 S_{22} 가 큰 경우이다. $S_{11} = -6.451$ dB이고 $S_{22} = 7.3204$ dB이다. 그림 3.3은 출력단의 S_{11} 과 S_{22} 를 측정된 경우이며 S_{11} 이 커야 하며 S_{22} 가 작아야 하는 경우이다. 그림 3.2는 $S_{11} = -6.46$ dB이고 $S_{22} = -7.2174$ dB이다. 그림 3.2와 3.3은 실제 제작한 회로를 측정 한 입·출력반사계수의 특성을 보인 것이다.

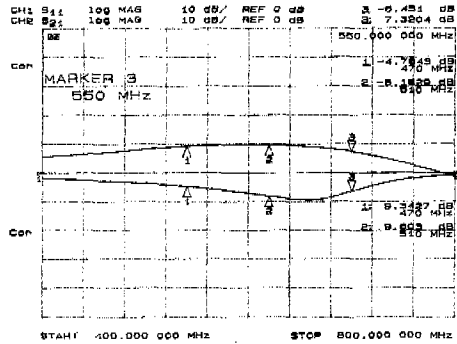


그림 3.2 측정된 입력단의 S_{11} 과 S_{22}

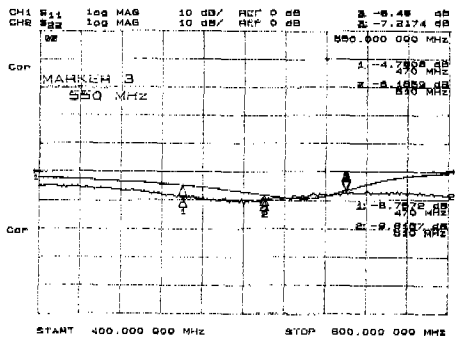


그림 3.3 측정된 출력단의 S_{11} 과 S_{22}

IV. 전력증폭기의 모델링과 성능평가

S_{21} 은 소자의 라이브러리 부족으로 직접 시뮬레이션하지 못하였고, 측정된 값으로부터 curve fitting 한 다음 모델링하고 수치해석을 하여 시뮬레이션에 사용하였다. 그림 2.1에서 드라이브단과 주 출력단의 증폭기의 형태는 그림 2.2에 보인 평형증폭기의 형태로 일정하며 단지 튜닝한 값이 다르다. 이와 같은 형태로 그림 4.1에 보인바와 같이 드라이브단의 3단과 출력단의 3개의 증폭기를 병렬결합한 경우의

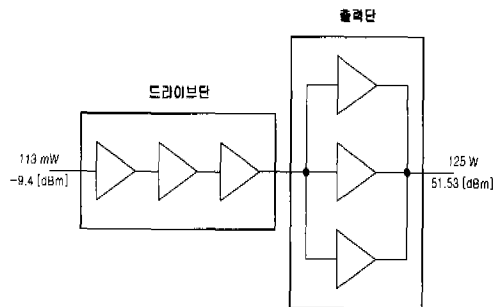


그림 4.1 실제로 제작 측정된 시스템 블록도

측정한 AM/AM특성의 데이터를 이용하여 그림 4.2에 보였다. 그림 2.1에서 보면 드라이브단 증폭기의 입력 레벨은 -9.4692 dBm이 된다. 그때의 출력레벨은 51.53 dBm의 특성을 가진다. 그림 4.3은 그림 4.2의 AM/AM특성을 전압의 특성으로 바꾸어 나타낸 것이다.

일반적인 비선형 특성은 식 (4.1)로 나타낼 수 있다^[6].

$$e_0 = k_0 + k_1e_i + k_2e_i^2 + k_3e_i^3 + k_4e_i^4 + \dots \quad (4.1)$$

일반적인 전력증폭기의 비선형 특성은 식 (4.2)와 같이 나타낸다^[5]

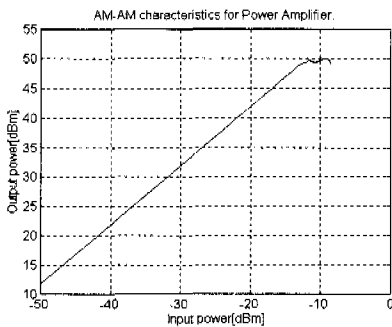


그림 4.2 전력증폭기 출력단에서의 AM/AM특성

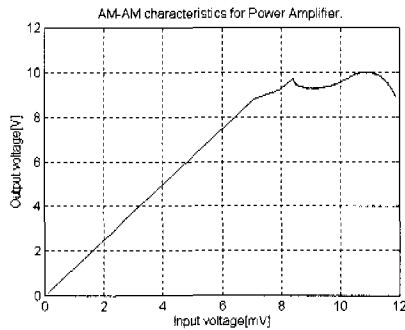


그림 4.3 전력증폭기 출력단에서의 AM-AM 전압특성

$$e_0 = k_1e_i + k_3e_i^3 + k_5e_i^5 + k_7e_i^7 \dots \quad (4.2)$$

입력신호를 $e_i = A \cos \omega t$ 라 가정하면 선형이득은 식 (4.3)과 같다.

$$G_0 = 20 \log_{10} \frac{k_1 A}{A} = 20 \log_{10} k_1 [\text{dB}] \quad (4.3)$$

그림 4.4는 curve fitting에 의해 식 (4.1)의 형태로 계수값을 구하여 그 특성을 표시한 것이다. 실제

측정한 데이터와 같음을 알 수 있다. 그림 4.5는 식 (4.2)에 의해 k_1 을 고정시키고 식 (4.2)식으로 근사화 한 것이다. 이 때 구한 계수값은 최적화 알고리즘을 통해 구하였다^[7]. curve fitting에 의해 구한 근사식과 k_1 을 고정시키고 알고리즘을 통해 구한 식은 서로 거의 유사함을 알 수 있다.

그림 4.5는 시뮬레이션을 통해 특성을 식 (4.1)의 형태로 구한 전력증폭기의 특성과 식 (4.2)의 형태로 구한 역급수의 형태로 모델링한 특성을 비교한 것이다. 그림 4.5에서 보듯이 서로 유사함을 알 수 있다. 이때 모델링 구간은 0 mV에서 12 mV로 하였으며, 이득은 61 dB로 하였다.

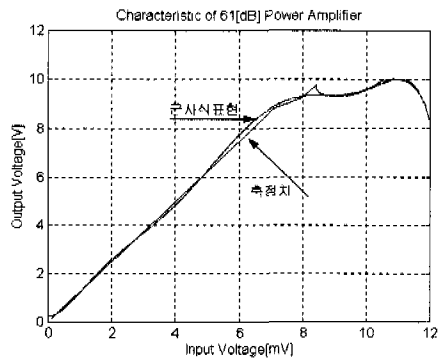


그림 4.4 근사식에 의한 증폭기 특성

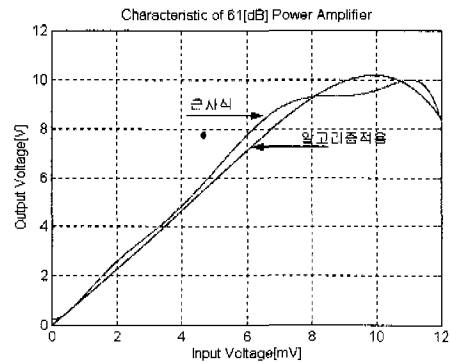


그림 4.5 알고리즘 적용시 증폭기 특성

그림 4.6은 일반적인 curve fitting 방법에 의해 구한 전력증폭기의 출력특성을 모델링한 전력증폭기에 2레벨 입력신호를 인가했을 경우의 전력스펙트럼으로 나타낸 것이다.

이 때 증폭기의 전력스펙트럼을 전력스펙트럼의 최대값으로 정규화한 것이며, 50번 반복해서 구한 평균을 적용한 특성이다. 그림 4.7에 보인 실제 측정된 스펙트럼 특성과 비교해 볼 때, 그림 4.6의

curve fitting시 전력증폭기의 출력특성에서 보는 바와 같이 측대와 레벨이 많이 포함되어 있으며, 일반적인 전력증폭기의 요구 특성과 다른 특성을 가짐을 알 수 있었다.

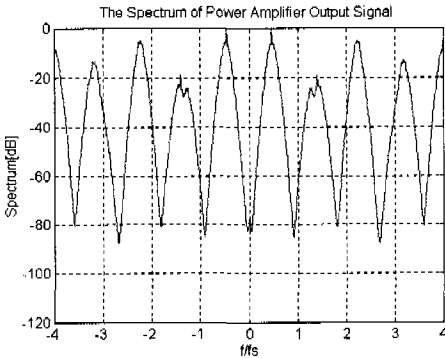


그림 4.6 Curve fitting한 전력증폭기의 출력 스펙트럼

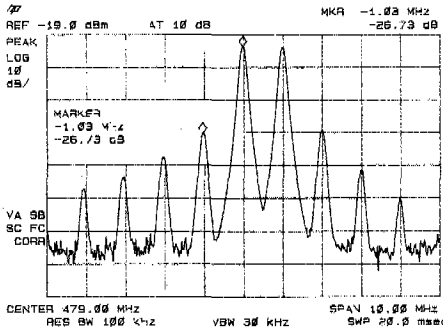


그림 4.7 측정된 전력증폭기의 출력신호

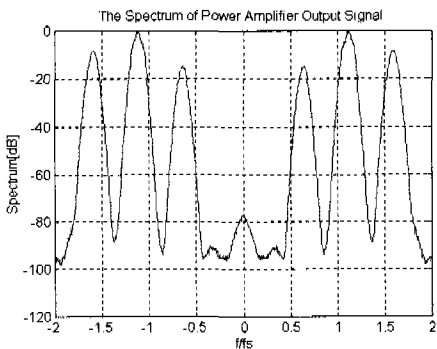


그림 4.8 모델링한 전력증폭기의 출력스펙트럼

그림 4.8은 curve fitting으로 구한 것을 Gauss-Newton^[8] 알고리즘을 이용하여 구한 계수값을 적용한 전력증폭기의 특성을 근사적으로 모델링한 전력증폭기에 2레벨 입력신호를 인가했을 경우의 전력스펙트럼을 보인 것이다. 그림 4.7은 스푸리

어스 특성이 -7.73 dB 이고 그림 4.8은 스푸리어스 특성이 -7.99 dB 로 서로 유사함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 구한 계수 값은 실제 증폭기 특성과 유사하므로 이를 통해 시스템 전체의 특성을 확인할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 지상파 디지털 방송용 송신시스템에 적용하기 위한 송신용 전력증폭단을 고찰하고 전력증폭단을 구성하는 증폭기 모듈을 설계, 제작한 다음 제작된 모듈을 기본으로 하여 증폭단의 특성을 모델링하였으며 실제 측정된 특성과 알고리즘을 적용하여 모델링한 전력증폭기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 전체적인 시스템 성능평가는 각 모듈의 출력특성을 2-레벨신호를 전력증폭기의 입력단에 인가하였을 경우 전력증폭기의 출력단의 전력스펙트럼으로 확인하고 전력스펙트럼을 전력스펙트럼을 비교, 제시하였다.

그 결과 일반적인 curve fitting에 의해 나타난 전력스펙트럼은 다른 많은 측대파가 생성되어 전력증폭기의 특성과는 다르다는 것을 확인하였고 본 연구에서 적용한 알고리즘에 의해 구한 증폭기의 전력스펙트럼은 전력증폭기의 특성과 유사하다는 것을 확인하였다. 이때 나타난 2-레벨신호에 대한 스푸리어스 특성이 실제 제작시 측정된 값은 -7.73dB 이고 모델링하여 시뮬레이션 한 특성은 -7.99 dB 로 유사함을 확인하여 실제 시스템을 모델링 할 수 있다.

향후 과제로는 FCC 의 IMD 규격에 적용가능한 전력스펙트럼 특성을 얻을 수 있는 전력증폭기를 설계 제작하는 것이 과제이다.

참고 문헌

- [1] 이용희, "방송의 Digital 화(1),(2)," 1995년 통권 39-40호, 방송과학기술.
- [2] 박균량, "21세기에 대비한 지상파 방송의 디지털 화에 관한 연구," 1997년 10월, 방송과학기술.
- [3] 조선일보, 1997년 11월 20일.
- [4] 송명선, "'98 디지털 방송기술 워크샵 및 전시회", 한국통신학회, Nov. 1998.
- [5] Steve C. Cripps, RF Power Amplifiers for wireless Communication, Artech House, 1999
- [6] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier

Design, New York : Wiley-Interscience, 1981.

- [7] Michel C. Jeruchim, Philip Balaban, and K. Sam Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*, Plenum Press, pp. 303-305, 1992.
- [8] J. E. Dennis, Jr., "Nonlinear least Squares," state of the Art in Numerical Analysis ed. D. Jacobs, Academic Press, pp. 269-312, 1977.

이 기 학(Ki-Hak Lee)

정회원



1973년 : 광운대학교 무선통신과
(공학사)
1980년 : 연세대학교 전자공학과
(공학석사)
1978년4월~현재 : 안양과학대
교수

<주관심 분야> 초고주파공학, 안테나 공학

백 주 기(Joo-Ki Baek)

정회원



1987년 2월 : 서울산업대학교
전자공학과(공학사)
1995년 2월 : 단국대학교
전자공학과(공학석사)
1999년 8월 : 단국대학교
전자공학과(공학박사)

<주관심 분야> 디지털 이동통신기술, 초고주파회로
및 시스템