

광대역 디지털TV 중계기용 100 Watt 고출력증폭기의 구현 및 특성 측정에 관한 연구

전 중 성 †

(원고접수일 : 2007년 3월 5일, 심사완료일 : 2007년 6월 20일)

Implementation and Evaluation of the 100 Watt High Power Amplifier for Broadband Digital TV Repeater

Jeon-Joong Sung†

Abstract : In this paper, a 100 Watt high power amplifier has been implemented and performed evaluation, which is operating at UHF band (470 ~ 806 MHz) for Digital TV repeater. To achieve increase of bandwidth and high power capability, 3-way power combiner and divider of Wilkinson type was adopted.

In order to measure the fabricated 100 Watt power amplifier, the estimation technique function which makes equivalent mask was used. As a result of the measurement, the existence of pilot signal is confirmed and the signal transmitted at the rated output power 100 Watt is brought out the flat feature through 6 MHz bandwidth, and it resulted that its value was less than -47 dB at the edge of radiation channel and less than -110 dB at more than 6 MHz position from channel edge.

Key words : 8VSB (8-Vestigial sideband), 8PSK (Octal phase shift keying), HDTV (High definition television), Power amplifier (초고주파 전력증폭기)

1. 서 론

디지털 TV(DTV:Digital Television) 방송은 디지털 신호처리, 반도체 및 전송 기술의 발달에 의해 기존의 아날로그 방송 시스템으로는 도저히 불가능 했던 고품질의 다채널 방송을 가능하게 하고 있다. 디지털 TV는 전송채널 대역폭의 이용 효율이 우수하고, 고품질의 비디오 및 오디오

서비스가 가능할 뿐만 아니라 멀티미디어 서비스와의 상호 연동성이 매우 우수한 특성이 있으며, 방송 신호의 지장과 혼합화(Scrambling)가 용이하여 다양한 형태의 방송 서비스의 제공이 가능하다.

국내의 경우는 1995년 말 무궁화 위성용 DTV 방송 시스템 개발을 완료한 후 현장시험을 거쳐 1996년 7월부터 KBS 및 EBS가 위성 방송 서비스를 실시하고 있다. 위성 방송은 27 MHz 대역에 4~10개의 SDTV 프로그램을 수용할 수 있어

† 교신저자(한국해양대학교 부설 산업기술연구소), E-mail : jsjeon@hhu.ac.kr, Tel : 051)410-4788

서 다채널 DTV 서비스는 물론이고 대화형 원격 교육, 멀티미디어 데이터 방송 기능 등을 부가적으로 수용할 수 있다. 지상파 방송의 경우는 6 MHz 대역에 3~4개의 SDTV 프로그램이나 하나의 HDTV 프로그램을 제공할 수 있는 방식으로 우리나라는 미국 ATSC 방식에 기초하여 2002년 시험 방송 서비스를 함과 동시에 관련 기술 및 시스템을 개발이 이루어지고 있다^{[1]-[5]}.

특히 디지털 TV 중계기의 개발은 중계기의 국산화뿐만이 아니라 본격적인 디지털 시대를 맞이하여 21세기의 국제적인 첨단 기술 제품의 시장을 고려할 때 이러한 고부가가치의 고도 기술은 필연적으로 확보해야 할 것이다.

2. 지상파 DTV 중계기 시스템

2.1 DTV 중계기 구성도

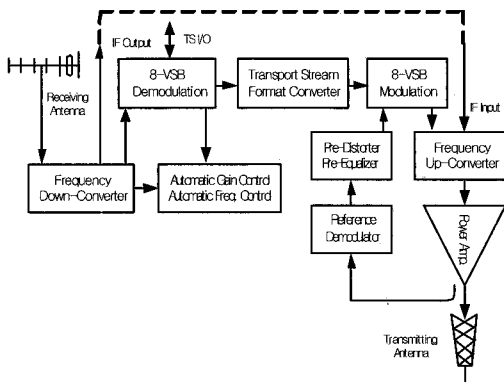


Fig. 1 A block diagram of digital TV repeater

그림 1은 지상파 디지털 TV 신호를 중계하기 위한 중계기의 구성도로서 수신부, 변조부, RF 처리부, 고출력증폭기, 안테나로 구성되어 있다. DTV 중계기에는 안테나에서 수신한 신호를 송신기에서 FEC 부호화 및 8-VSB 변조를 수행한 후 UHF(Channel 14 ~ 83) 주파수대로 상향 변조한 후 고출력증폭기 및 안테나를 통해 해당 방송 신호를 송출한다. 여기서 Pre-Equalizer는 채널 필터 등에서 발생하는 선형 왜곡을 제거하는 기능을 수행하며, Pre-Corrector는 고출력증폭기에

서 발생하는 비선형 왜곡을 제거하는 기능을 수행한다.

2.2 100 Watt 전력증폭기의 구성도

그림2는 100 Watt 전력증폭기의 구성도로서 레벨제어 및 구동증폭단은 전압 제어 감쇠기, 4단 증폭단으로 구성된다. 주파수 상향기로부터 들어온 신호는 송신 출력 레벨 안정화를 위해 전압 제어 감쇠기를 거친 후 4단 증폭을 한 후, 중간증폭단을 거친 후 전력분배기에 의해 3개의 100 Watt 단위 전력증폭기로 분배된다.

100 Watt 전력증폭단은 100 Watt 단위 전력 증폭기 및 전력분배기 및 전력결합기, 출력검출부로 구성된다. 레벨제어 및 구동증폭단, 중간증폭단으로부터 받은 입력 전력은 3개의 출력으로 분배되어 3개의 100 Watt 단위 전력증폭기에 입력된다. 3개의 100 Watt 단위 전력증폭기에 의해 최종적으로 증폭된 전력은 전력결합기에 의해 하나로 모아져 하나의 출력 포트에 출력된다. 전력검출기는 송신기로부터 안테나에 입력되는 출력을 측정한다.

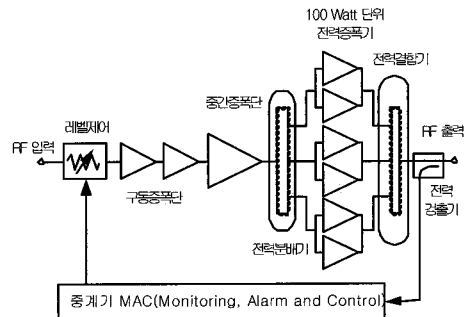


Fig. 2 A block diagram of 100 Watt HPA

3. 전력증폭기의 구현

차폐되지 않은 두개의 전송선로가 가까이 놓여질 때, 각 선로의 전자계 상호작용 때문에 선로 사이에 전력이 결합된다. 이러한 선로를 결합선로라고 하며, 그림 3의 40 dB 결합선로형 방향성 결합기는 마이크로파 및 밀리미터파 회로에 주로 사용되는 기본적인 소자 중의 하나이다^[6]. 이 방향성 결합기

의 특징은 2축 대칭 형태로 출력 포트간에 90°의 위상차를 갖는다. 본 논문에서는 안테나로 방사되는 신호 전력의 검출을 위해 전력증폭기의 출력을 검출하여 그때의 전압을 감쇠기에 인가 가능하도록 결합선로형 방향성결합기를 사용하였으며, 그때 기준 감쇠량을 8 dB로 하여 전력증폭기의 온도 및 8-VSB 모뎀레이터의 입력 신호 세기의 변화에 따라 감쇠량이 조절되도록 구현하였다.

결합선로형 방향성 결합기의 결합 단자에서 출력 신호를 검출하여 결합콘덴서로 통과시켜 직류성분을 제거하고, 다이오드에 의하여 맥동성분을 가진 신호로 정형시킨다. 대용량의 콘덴서와 입력 임피던스에 의해 검출된 출력신호는 직류 성분으로 변환시켜, 이 신호를 전압 폴로워로 전달시킨 후 OP 앰프에 의해 나타나는 구동출력에 대한 직류 전위레벨을 주파수 635 MHz에서 측정된 결과를 그림 4에 나타내었다. 그 결과 선형성을 나타냄을 볼 수 있다.

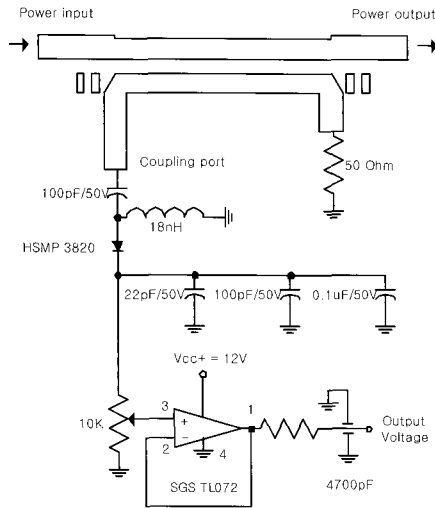


Fig. 3 A circuit of parallel coupled-line directional coupler and phase non-splitter amplifier

감쇠기는 100 Watt 전력증폭기의 출력을 40 dB 결합선로형 방향성 결합기를 사용하여 출력을 검출한 후 안테나로 방사되는 신호전력을 조절하기 위해 설계·제작 하였다. 전력증폭기의 이득을 조절하기 위해서 KDI/Triangle사의 다이오드 감쇠기(Diode Attenuator)인 GaAs PI-810을 사

용하여 5 dB에서 15 dB(삽입손실:5 dB)까지 감쇠 가능한 감쇠기를 제작하였다^[7].

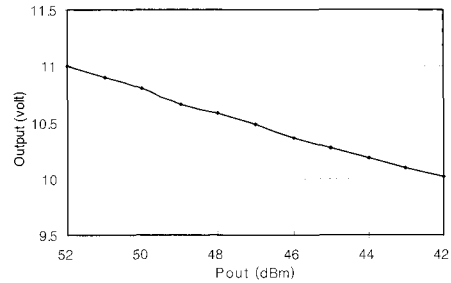


Fig. 4 Pout/EIRP output voltage characteristics of the parallel coupled-line directional coupler

그림 5는 제작된 감쇠기의 주파수별 감쇠량을 나타낸다. 제작된 다이오드 감쇠기는 470~806 MHz에서 5dB의 삽입손실을 포함하여 전압이 4~10 V일 때 선형성을 유지하며 그때 7.5dB의 감쇠량과 각각 주파수에 대하여 0.1dB의 평탄도를 나타내었다.

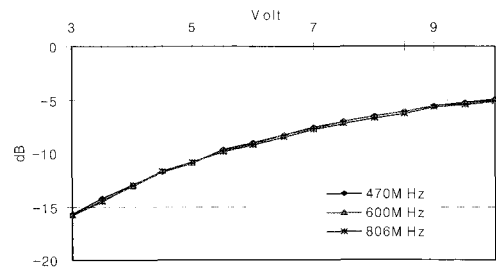


Fig. 5 The attenuation characteristics of the diode attenuator

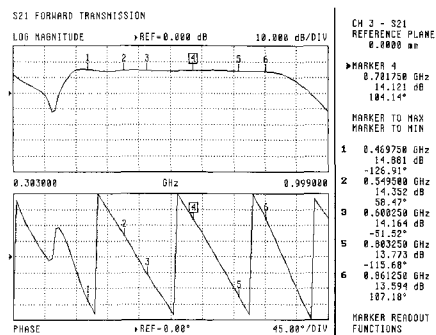


Fig. 6 A small signal gain of the driving amplifier stage

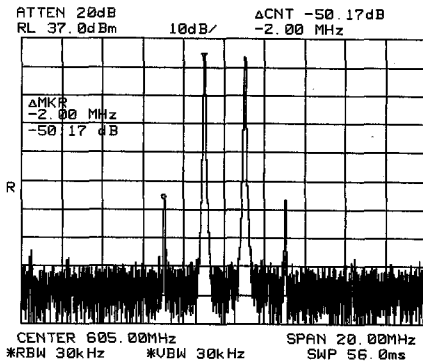


Fig. 7 The IM₃ of the driving amplifier stage at center frequency 605 MHz

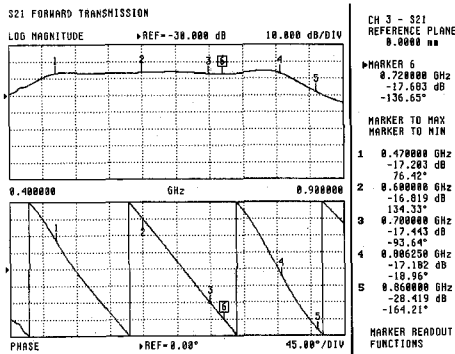


Fig. 8 The gain and phase characteristics of the 85 watt middle amplifier stage

구동증폭단은 유전율 2.53, 두께 0.8mm 기판을 사용하여 전치증폭기와 1 Watt 단위 증폭기를 단일 기판상에 집적화 하였다. 그림 6은 구동증폭단에 바이어스 전압을 28 V DC, 전류 900 mA 인가하였을 때 470~806MHz의 336 MHz 대역에서 53.5dB 이상(측정시 40 dB 감쇠기 부가)의 이득, 0.5 dB의 이득평탄도를 나타내며, 입·출력 반사손실은 -12dB 이하를 나타내었다. 또한 그림 7은 출력전력이 1Watt이고 605MHz 대역에서 2MHz 주파수 간격의 두 신호를 구동증폭단에 입력할 때 50dBc 이상의 상호 변조 왜곡 특성(IM₃)을 나타낸다.

85Watt 중간증폭단은 유전율 3.38, 두께 32 mil인 Rogers사의 RO-4003 기판을 사용하여 구현하였다. 그림 8은 구동증폭단과 중간증폭단에 바이어스 전압을 28V DC, 전류 4 A 인가하였을 때 470~806MHz의 336MHz 대역에서 66dB

이상(중간증폭단 이득 12.5dB: 측정시 30dB 감쇠기 부가)의 이득, 0.2dB의 이득평탄도를 나타내며, 입·출력 반사손실은 -16dB 이하를 나타내었다. 또한 그림 9는 출력전력이 40dBm이고 사용주파수 대역에서 2MHz 주파수 간격의 두 신호를 구동증폭단에 입력할 때 43dBc 이상의 상호 변조 왜곡 특성을 나타내었다.

그림 10은 100Watt 단위 전력증폭기의 특성을 나타내며, 측정시 30dB 감쇠기를 부가하였으며 이득 12dB, 0.5dB의 이득평탄도를 나타내며, 그리고 입·출력 손실은 -15dB 이하를 나타내었다. 그림 11은 상호변조왜곡 특성이 40dBc인 전치증폭기를 사용하여 2MHz 주파수 간격의 두 신호를 100Watt 단위 전력증폭기에 입력할 때 상호 변조 왜곡 특성이 34dBc 이하의 우수한 특성을 보였다. 그림 12는 제작된 광대역 디지털 TV 중계기용 100Watt 고출력증폭기를 나타낸다.

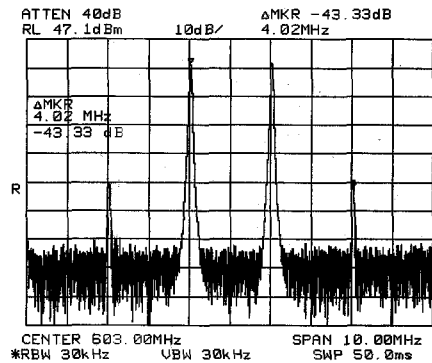


Fig. 9 The IM₃ of the 85 watt middle amplifier stage at center frequency 603 MHz

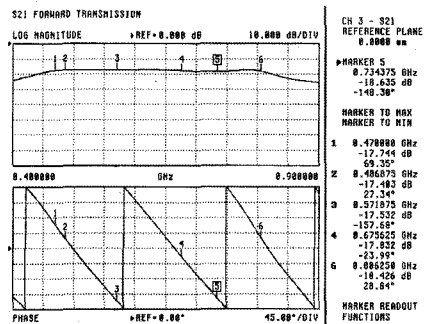


Fig. 10 The gain and phase characteristics of the 100 watt unit power amplifier

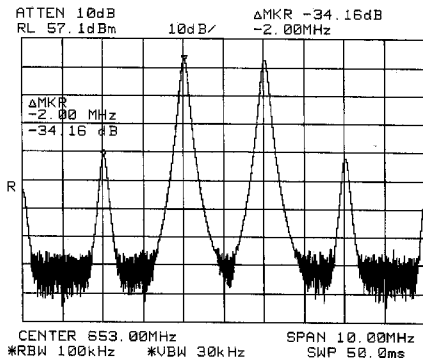


Fig. 11 The IM₃ of the 100 watt unit power amplifier at center frequency 653 MHz

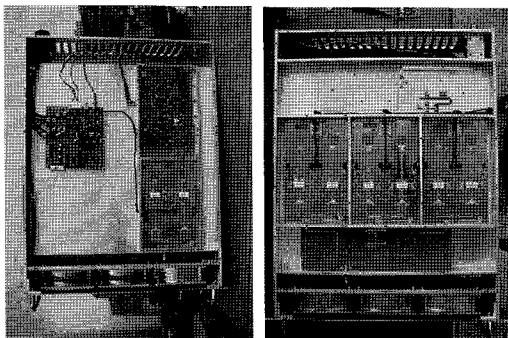


Fig. 12 Photograph of the fabricated amplifier

4. 전력증폭기의 특성 측정 및 평가

8-VSB는 8개의 분리된 진폭 변조 레벨들을 사용하는 퇴화 사이드밴드 디지털 변조 시스템이다. 이 변조 레벨들은 MPEG-2로 압축된 전송 흐름을 운반하기 위하여 8개의 다른 이진수들 혹은 심벌 값들로 할당된다.

그림 13는 8-VSB 전송기의 기본 구성을 나타낸다. 100Watt 전력증폭기의 성능 측정은 시스템의 성능을 정량화하기 위한 마스크필터의 전후에서 8-VSB 특성을 측정한다. 폐회로 피드백 방법은 시스템 내부에서 왜곡들에 대한 보정을 하기 위하여 에러들과 미리 왜곡된 신호를 정량화할 수 있다.

그림 14은 중심주파수 482.31MHz(16번 채널)에서 파일럿의 신호의 존재를 확인할 수 있고, 또한 전송된 신호가 6MHz 대역폭에 걸쳐 평탄함을 보여준다. 만일 파형의 어떤 현저한 편향이 나

타한다면 이것은 데이터 값들이 랜덤하지 않음을 나타내거나, 또는 다른 신호가 채널 내부에서 간섭하고 있음을 나타낸다.

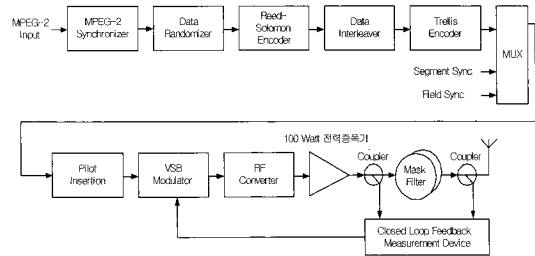


Fig. 13 Block diagram of 8-VSB transmitter

피크-평균파워(Peak-to-Average Power)는 평균 포락선 파워에 대한 피크파도파워의 비이다. 피크파도파워는 디지털 변조된 신호에 의해 이따금 도달하는 포락선 파워의 최대값이다. 이것은 누적 분포함수(Cumulative Distribution Function: CDF)를 이용하여 시간에 대한 반송파 파워의 통계적인 분포로서 플롯트 되었다.

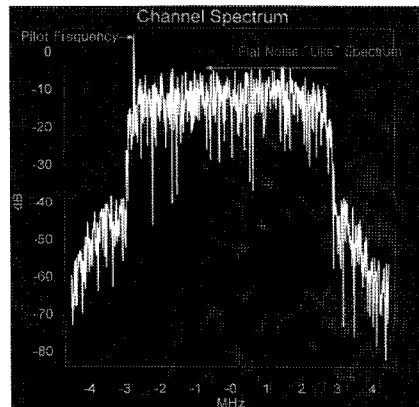


Fig. 14 A high level view: Spectrum of 8-VSB signal occupying 6 MHz bandwidth

그림 15는 이상곡선과 6 MHz 이상에서 실제 측정된 곡선을 비교함으로써 얻은 결과로서 소량의 이득압축을 나타낸다. 최대출력은 가상적으로 결코 얻을 수 없고, 7 dB에서 거의 0.3 dB 만큼 억제되었다. 엄격한 경우, 이것은 채널 외부 스펙트럼에서 사이드밴드 양 측면(shoulder)의 상승을 일으킨다.

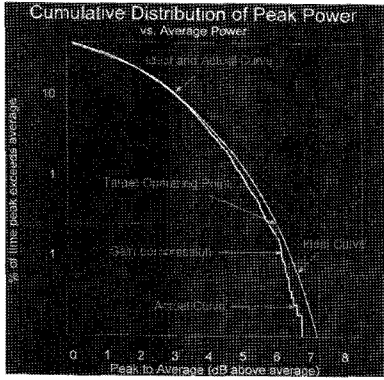


Fig. 15 Cumulative Distribution of Peak Power

인접 채널들이나 다른 대기로의 누설이 없는지를 검증하기 위하여 FCC는 채널 외부 방출 시험을 한다. 요구된 특성을 그림 16에 나타내었다. 승인된 동작 채널 외부 주파수에 대한 출력레벨은 채널의 가장자리로부터 500kHz에서 -47dB 만큼 감소되어야 한다. 신호들은 채널의 가장자리로부터 6 MHz에서 -110dB 감소되어야 한다. 규격은 500 kHz 대역폭을 사용하지만 측정의 목적으로는 30 kHz 대역폭이 사용되며, 좀더 정확한 측정을 제공하기 위하여 적합한 보정요소들이 적용된다.

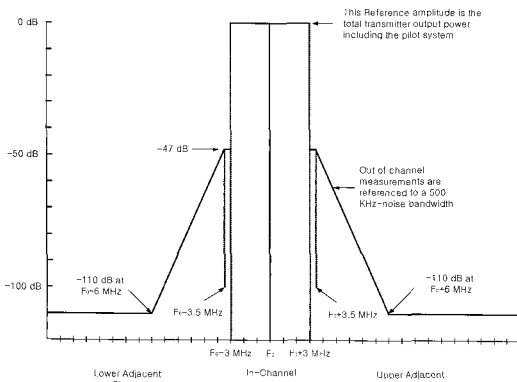


Fig. 16 Out-of-channel emissions mask

현재 RF 측정 장비들에서 시스템의 잡음한계는 -110 dB 레벨까지의 직접측정을 제한한다. 따라서 이 측정들을 하기 위하여 추정테크닉들이 사용된다. 한 가지 방법은 그림 17에 나타낸 것과 같은 전송기의 자체 대역통과필터를 사용하는 것이다.

신호품질과 가둠 방출(Close-in emissions) 성능의 통상적인 측정법은 테스트 포인트 B에서 취하는 하나의 샘플신호를 가지고 행한다. 측정 후, 최종 결과를 결정하기 위하여 필터의 손실을 더한다. 이 방법은 이미 시스템 내부에 있는 필터를 이용하는 장점이 있다. 그러나, 이것은 전송기의 필터 특성을 알아야 할 필요가 있다. 한편, 전송기의 채널 외부 방출 진폭의 극값을 체크하기 위해서 측정장비는 테스트 포인트 A에서 채널 필터의 앞쪽과 연결한다. 여기서 채널 외부 방출은 아직 필터로 감소하지 않았기 때문에 훨씬 더 높은 진폭을 가진다.

이때 테스트 포인트 A에서 얻은 데이터와 FCC 마스크 상에 중첩된 채널 필터 응답으로부터 등가 마스크를 계산할 수 있다. 대역통과필터는 소량의 손실을 갖는다. 손실은 어느 방향으로든지 중심 주파수로부터 멀어짐에 따라 증가한다.

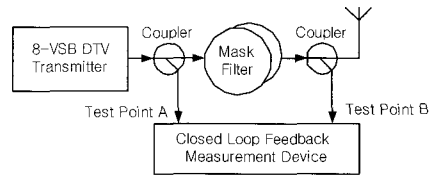


Fig. 17 Characterization of FCC Out-of-Channel mask

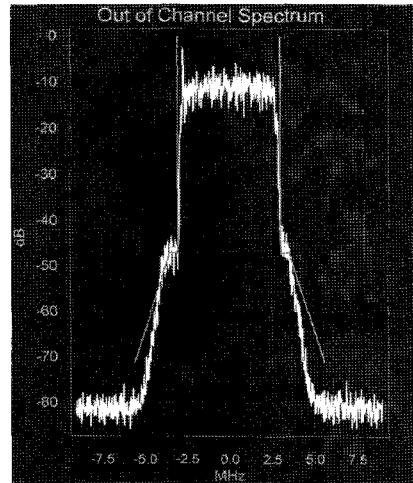


Fig. 18 Out-of- Channel spectrum

그림 18은 마스크판 상에 중첩된 스펙트럼 측정

이다. 파일럿 주파수는 6 MHz 대역폭내의 스펙트럼은 평탄하므로 나머지 대역에서의 잡음성 스펙트럼과 분명하게 구별된다. 만약 스펙트럼의 외부 가장자리들이 평탄하다면, 이것은 시스템이 비선형 에러들을 가지지 않는다는 것을 나타낸다. 만일 채널 스펙트럼 상에 기울기가 존재한다면, 이것은 비선형 에러들의 존재를 나타낸다.

5. 결 론

본 논문에서는 디지털 TV 중계기에 사용되는 UHF(470~806MHz)용 전송장치로 사용될 수 있는 100 Watt 전력증폭기를 설계 및 제작하였다.

100 Watt 전력증폭단은 100 Watt 단위 전력증폭기와 함께 3-Way 전력분배기/전력결합기를 이용하여 3단 평행증폭기의 형태로 설계·제작하였으며, 제작된 100 Watt 전력증폭기에는 최종 출력 신호의 세기를 검출하기 위해 40 dB 결합선로형 방향성 결합기가 사용되었다.

디지털 TV 중계기용 광대역 고출력 전력결합기의 성능을 향상시키기 위하여, 본 논문에서는 Wilkinson 분배기의 이론적인 등가회로를 이용하고, 또한 균등 및 비균등 분배기 이론을 적용하였으며, 제작된 전력결합기는 회로에서의 고임피던스로 인한 마이크로스트립 선로 폭의 한계와 고출력의 경우 선로간의 상호작용으로 인한 전력의 손실 및 협대역의 문제를 동시에 개선하였다.

제작된 40 dB 결합선로형 방향성 결합기는 안테나로 방사되는 신호전력을 검출하여 그때의 전압을 감쇠기에 인가하였으며, 그때 기준 감쇠량을 8 dB로 하여 전력증폭기의 온도 변화와 8-VSB 모듈레이터의 입력신호 세기의 변화에 따라 감쇠량이 조절되도록 구현하였다.

한편 상호 변조 왜곡 특성을 향상시키는 기술 중의 하나인 디지털 Predistorter 기술은 회로가 매우 복잡하고 제한된 DSP 계산속도 때문에 대역폭이 좁다. 따라서 본 연구에서는 광대역 특성을 얻을 수 있고, 회로가 간단한 Back off 방식을 사용하여 100 Watt 전력증폭기를 구현하였다.

특히, 본 논문에서는 제작된 100 Watt 전력증

폭기의 특성을 측정하기위해 등가마스크를 생성하는 추정테크닉 기술을 이용하였다. 측정 결과 파일럿 신호의 존재를 확인할 수 있었고, 정격 출력 100 Watt에서 전송된 신호가 6 MHz 대역폭에 걸쳐 평탄한 특성을 보였으며, 방사 채널 가장자리에서는 -47 dB 이하, 채널 경계로부터 6 MHz 이상에서는 -110 dB 이하의 우수한 결과로 등가 마스크 및 관련 규정에 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 본 논문은 연구된 결과를 토대로 디지털 TV 시대에 부합하는 양질의 전력증폭기의 제작이 가능함을 확인할 수 있었을 뿐만 아니라 성장할 국 내외의 디지털 TV 및 CDMA 사업을 비롯하여, 각종 중계기에 사용되는 전력증폭기 등의 관련 시장에서 그 기술력 확보에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] ATSC, "ATSC Digital Television Standard," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Doc. A/53, Sep., 1995.
- [2] D. G. Oh and J. H. Park, "Development of HDTV System for Koreasat," The proceedings of APSCC, Nov., 1998.
- [3] ETS 300421, "Digital broadcasting systems for television, sound and data services: Framing structure, Channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite service," Nov., 1994.
- [4] Jerry C. Whitaker, "DTV: The Revelation in Electronic Imaging," McGraw-Hill, 1998.
- [5] "무선국 및 전파응용 설비의 검사방법절차 및 기준," 정보통신부고시 제 2001-34호 6월, 2001.
- [6] J. Reed, G. J. Wheeler, "A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port

Network," IRE Trans. MTT-4, pp. 246~252, Oct., 1956.

- (7) KDI/Triangle Corporation, RF, Microwave and Millimeter Wave-MMIC, Hybrid and Passive Components, KDI/Triangle Corporation, 1998.

저 자 소 개



전중성(田重成)

1961년생. 2000년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사). 2000년-현재 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 전임연구원