

## PA 시스템을 위한 D급 증폭회로의 설계

(Design of class D Amplifier circuits for PA system)

이종규\*

(\*동서울대학)

(jong kyu lee)

This research describes how the class D amplifiers with power efficiency are designed and implemented for the PA audio systems. The configuration that makes use of the class D amplifier properties depends strongly on their applications. Thus in this paper the characteristics of the 2-level and 3-level PWM are analysed and the circuit implementation for them is presented. Using the proposed methods, they are designed and simulated for the further investigation. Test(Simulation) results present the improved performance that shows the satisfactory operations in controlling the PWM to the input signals.

### 1. 서론

증폭기는 오래전에 이론이 확립되어 A, AB, B 급 증폭기를 사용하고 있고 하이브리드 IC로 제조하여 오디오 제품에 적용하고 있다. 근래에 이르러 음성대역 증폭기는 통신용 단말기, 컴퓨터, 가전, 카오디오, AV 시스템, 대형 PA 시스템 등 적용하게 되었으며 기기 특성에 적합한 사양이 필요하게 되었다. 무선 단말기의 경우는 고효율이 요구되며 AV 시스템은 5채널 이상의 파워앰프가 필요하고 PA 시스템 역시 파워앰프를 선정할 때 효율, 댐핑, 저역의 특성을 고려해야 한다. 이러한 다양한 조건을 만족하기 위해서 효율이 높고 가벼우며 하이브리드가 가능한 스위칭 회로를 응용한 증폭기의 연구가 진행되어 왔다.

초기 스위칭 회로를 응용한 증폭기는 출력단 소자의 스위칭 속도의 제약으로 컨버터의 스위칭 모드를 응용하여 연구되었으나 회로가 복잡하고 출력이 낮아 실용화하기 어려웠다. (1)(2) 그 이후 POWER MOS FET 소자는 스위칭 주파수가 개선되어 캐리어 스위칭 주파수를 높게 설정할 수 있어서 PWM 스위칭 방식의 D급 증폭기를 제품에 적용할 수 있게 되었다. (3)(4) IR, TI사에서는 10- 300W급의 D급 증폭기 소자 및 모듈을 실용화하여 제품화 하고 있고 D급 증폭기를 용도에 따라 단말기, AV 시스템 등에 제한적으로 적용하고 있다. (5)(6)

D급 증폭기는 고효율, 댐핑, 스피커에서 발생하

는 역기전력 제어 특성 등이 우수하나 주파수 특성, 스위칭 노이즈 등이 문제가 된다. 이러한 단점 때문에 하이파이, PA등 대부분의 증폭기는 아날로그 회로를 사용하고 있으나 스위칭 기법을 이용하는 회로설계 기술의 발전으로 향후 아날로그 증폭기는 스위칭 방식의 증폭기로 대체될 것이다.

본 연구에서는 이러한 추세에 맞추어서 D급 증폭기에 적용할 수 있는 2가지 증폭기 제어회로를 제시하고 실험하였다.

### 2. 본론

D급 증폭기는 캐리어 주파수가 100KHZ ~ 300KHZ 이므로 오디오신호에 비례하는 PWM 패턴을 직접 연산처리하기가 쉽지는 않다. 따라서 언급하는 D급 증폭기의 제어기는 피드백 신호 제어하고 가청대역의 아날로그 입력신호를 입력받아 PWM 스위칭 패턴을 출력할 수 있는 제어기의 구성이다. 제어기의 설계는 OP AMP와 디지털 로직으로 구성하고 2레벨 및 3레벨 PWM 제어 패턴을 출력하도록 2레벨과 3레벨의 PWM 제어기 제안하였다. 이러한 2가지의 제어기 구성은 출력단 드라이브 조건과 출력단 회로 방식, 증폭기의 출력, 등을 고려한 D급 증폭기를 설계할 때 유용하다.

## 1) 2레벨 PWM 제어기 구성

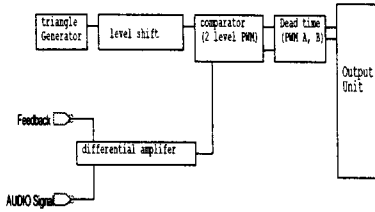


그림 1. 2레벨 PWM 제어기의 구성  
Fig 1. Configuration of the two level PWM controller

그림 1은 2레벨 PWM 제어 파형을 출력해 내기 위한 제어기 구성이다. 구성에서 캐리어 파형 발생기는 삼각파를 발생할 수 있도록 회로를 구성한다. 삼각파는 파형의 기울기는 관계없으나 선형성은 유지해야 하며 전위레벨을 이동시켜 비교기로 입력신호로 한다. 오디오신호와 귀환신호는 차동 증폭기로 증폭한 후에 비교기로 입력하고 비교기는 캐리어파와 비교하여 2레벨 PWM 제어 신호를 얻는다. 2레벨 PWM 제어 신호는 인버터 로직을 통하여 위상을 반전시켜서 PWM A와 B신호로 한다. 이때 2레벨 PWM 신호를 D급 증폭기에 이용할 때 D급 증폭기의 출력단 소자는 대부분 교대로 온, 오프를 반복하므로 데드타임 보상이 필요하다. 데드타임은 출력단 스위칭 소자의 턴 오프 시간지연을 기준으로 정한다. 대부분의 2레벨을 사용하는 D급 증폭기인 경우 캐리어주파수와 같은 주기로 데드타임을 적용하여야 하므로 캐리어주파수가 높은 경우에 전압 이용률이 떨어진다. 또한 앰프의 출력이 커지면 스위칭 소자의 극간용량이 커져 소자의 턴 오프 지연시간이 늘어나므로 스위칭 손실이 커진다. 따라서 2레벨 제어패턴의 D급 증폭기는 출력단을 하프브리지, 상보대칭형 증폭기로 하는 비교적 출력이 낮은 증폭기 설계에 적합하며 PA 시스템의 중고역 앰프에 적용하는 것이 바람직하다...

## 1) 3레벨 PWM 제어기 구성

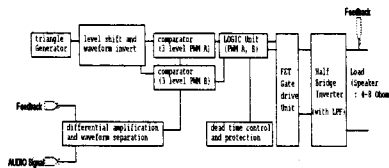


그림 1. 2레벨 PWM 제어기의 구성  
Fig 1. Configuration of the two level PWM controller

그림 1은 2레벨 PWM 제어 파형을 출력해 내기 위한 제어기 구성이다. 구성에서 캐리어 파형 발생기는 삼각파를 발생할 수 있도록 회로를 구성한다. 삼각파는 파형의 기울기는 관계없으나 선형성은 유지해야 하며 전위레벨을 이동시켜 비교기로 입력신호로 한다. 오디오신호와 귀환신호는 차동 증폭기로 증폭한 후에 비교기로 입력하고 비교기는 캐리어파와 비교하여 2레벨 PWM 제어 신호를 얻는다. 2레벨 PWM 제어 신호는 인버터 로직을 통하여 위상을 반전시켜서 PWM A와 B신호로 한다. 이때 2레벨 PWM 신호를 D급 증폭기에 이용할 때 D급 증폭기의 출력단 소자는 대부분 교대로 온, 오프를 반복하므로 데드타임 보상이 필요하다. 데드타임은 출력단 스위칭 소자의 턴 오프 시간지연을 기준으로 정한다. 대부분의 2레벨을 사용하는 D급 증폭기인 경우 캐리어주파수와 같은 주기로 데드타임을 적용하여야 하므로 캐리어주파수가 높은 경우에 전압 이용률이 떨어진다. 또한 앰프의 출력이 커지면 스위칭 소자의 극간용량이 커져 소자의 턴 오프 지연시간이 늘어나므로 스위칭 손실이 커진다. 따라서 2레벨 제어패턴의 D급 증폭기는 출력단을 하프브리지, 상보대칭형 증폭기로 하는 비교적 출력이 낮은 증폭기 설계에 적합하며 PA 시스템의 중고역 앰프에 적용하는 것이 바람직하다...

## 2) 3레벨 PWM 제어기 구성

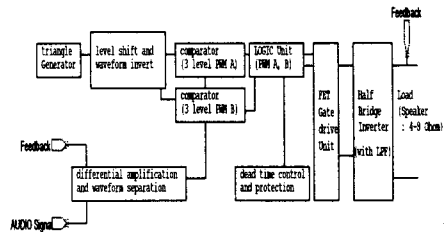


그림 2. 3레벨 PWM 제어기의 구성  
Fig 2. Configuration of the three level PWM controller

그림 2는 3레벨 PWM 제어 패턴을 출력해 내기 위한 제어기 구성이다. 위의 구성에서 캐리어 파형 발생기는 삼각파를 발생할 수 있도록 회로를 구성한다. 발생된 삼각파는 0전위를 기준 전위로 캐리어파 A로 하기 위하여 전위를 이동시켜서 3레벨 PWM A를 위한 캐리어파 A로 한다. 그리고 캐리어파 A를 반전 증폭기로 반전시켜 캐리어파 B 파형을 얻는다.

입력오디오신호는 귀환신호와 차동 증폭기로 증폭한 후에 3레벨 A와 B를 위한 구형파 신호와 오디오 기본파 신호를 출력한다. 비교기 A와 B는 오디오 기본파와 캐리어 A, B 파형 비교하여 그림 2의 3레벨 PWM A, B 파형을 출력해낸다. 또한 구형파 신호 A, B는 출력단 소자를 위한 데드 타이밍을 보상하고 노이즈나 이상 신호가 발생할 때 A, B PWM 파형이 동시에 턴온되는 것을 방지하기 위해 XOR 논리를 이용하여 보호신호를 발생시킨다. 보호 신호, 데드타임보상을 한 A, B의 구형파, 3레벨 PWM은 AND 논리에 입력하여 PWM A, B 제어패턴을 출력한다. 3레벨 PWM 제어는 파형의 상이 반전 될 때만 데드타임을 적용하므로 전압 이용률이 양호하므로 하프브리지, 풀브리지를 이용하는 D급 증폭기에 이용할 수 있다. 이러한 구성은 대출력 AV 서브우퍼 및 PA 시스템의 저역 증폭기의 설계에 응용한다.

**실험**

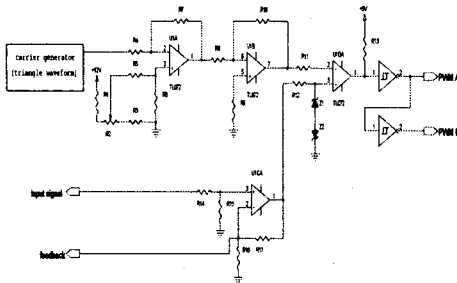


그림 3. 3레벨 PMM 제어기  
Fig 3. The three level PWM controller

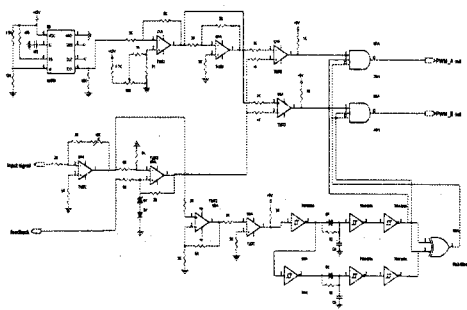


그림 4. 3레벨 PMM 제어기의 구성  
Fig 4. The three level PWM controller

그림 3은 그림 1의 2레벨 제어기 구성을 실제로 제어회로 설계하였다. 제어회로의 삼각파 발생은 VCO 566을 이용하여 캐리어파 100KHZ를 발진을 시켜서 사용하였고 캐리어의 전위 이동시키고, 음성과 피드백 신호 증폭을 위해서 OP AMP LM072를 사용하였다.

그리고 비교기 LM319와 디지털 로직 AND, XOR를 이용하여 2레벨 PWM 제어기를 제작하고 실험하였다. 그림4는 그림 2를 회로로 구현한 3레벨 PWM 제어기이다. 캐리어파는 LM566의 80KHz 삼각파 출력을 072 OP AMP로 레벨 이동하고 증폭한다. 입력 신호와 피드백 신호의 차신호 증폭은 072 차동증폭기로 구성하고 비교기 LM319를 이용하여 3레벨 PWM 제어파형을 출력하였다.

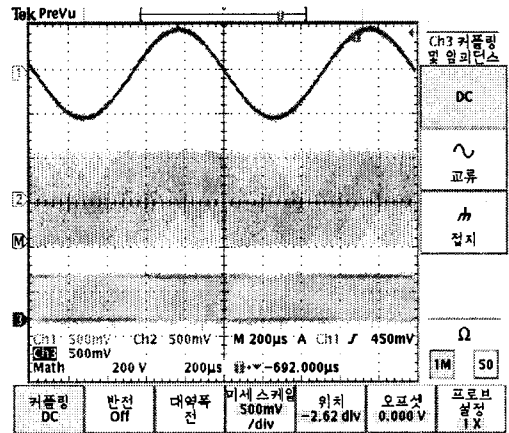


그림5. 2레벨 제어회로의 파형  
Fig 5. The waveform of The two level controller

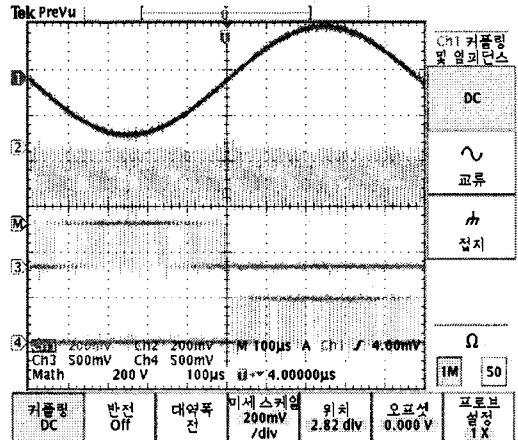


그림 6. 2레벨 제어회로의 파형  
Fig 6. The waveform of The two level controller

실험은 선형제어가 가능한 변조도 1 까지를 입력하고 PWM 출력파형을 관측하였다. 실험결과 제어기는 PWM 변조비 0.8-0.9 까지 오디오 입력 신호에 대한 PWM 출력전압의 변환이 양호한 것을 확인하였다. 그림 5는 그림 3의 3레벨 PMM

제어기를 실험 한 결과파형이다. 그림5의 1의 파형은 오디오 신호파형이고 2는 캐리어 파형이며 3은 제어기 PWM 출력파형이다.

캐리어파 주파수 100KHZ이고 변조도 0.85일 때 2레벨 출력파형을 나타낸다. 그림 6은 그림 4의 3레벨 제어회로 설계하고 실험한 제어기 파형으로 정현파 1KHZ이고 변조도 0.9일 때 캐리어파, 3레벨 PWM A, 3레벨 PWM B 패턴을 나타낸다. 3레벨의 제어기는 실험과정에서 파형의 크로스토크를 최소로 하기 위해서 0전위를 기준으로 캐리어파 A의 전위레벨을 0전위로 하였다.

### 3. 결론

현재 D급 증폭기는 소자의 특성, 용도, 정격 등에 따라 회로 설계기술을 다양하게 적용하여 설계하고 있다. 따라서 본 연구는 2레벨과 3레벨을 출력할 수 있는 D급 증폭기를 위한 제어기 구성을 제시하고 언급한 제어기 구성을 설계하고 제작하여 2레벨과 3레벨의 양호한 PWM 제어패턴을 확인하였다. 실험결과 변조도 0.9 이내에서 입력 신호에 비례하는 양호한 2레벨과 3레벨의 PWM 제어 패턴을 출력하였다. 연구결과 언급한 2레벨과 3레벨의 제어기를 D급 증폭기를 구성하고 저역과 중고역에 선택 적용하여 PA 시스템에 활용하면 효율이 높고 출력 큰 PA 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Edit by CARL T. HELMERS, 'ROBOTICS AGE', p34-46, 1983
- [2] J R Stuart, 1991, 'High Quality Digital Audio', Proc. Inst Acoust 12, part 8
- [3] B.H. Gwee, J.S. Chang, H. Li, "A micropower low-distortion digital pulse width modulator for a digital class D amplifier", IEEE transactions on circuits and systems II: analog and digital processing, Vol 49 Issue 4, pp 245- 256, April, 2002
- [4] Soren Poulsen, Michael A.E. Andersen, " Single conversion audio amplifier and DC-AC converters with high performance and low complexity control scheme", IEEE PESC Conference proceeding 2004, pp 267-271
- [5] Honda J. and Adams J. "'Class D Audio Amplifiers Basics'". International Rectifier Application Note. <<http://www.irf.com>>
- [6] Pearce R., Brown S. and Grant D. "'Measuring HEXFET® Characteristics'". International Rectifier Application Note. <<http://www.irf.com>>
- [7] 이종규, " PA 시스템을 위한 A급 증폭회로의 설계", 동서울대학 산업기술연구소, 2007, pp 1-20