

홈시어터 스피커를 위한 S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프의 구현

Design of an S/PDIF 7.1-Channel Digital Amplifier for Home Theater Speakers

권 오 균*, 송 문 빈*, 정 연 모*, 전 계 석*

((Ohkyun Kwon*, Moonvin Song*, Yunmo Chung*, Kye Suk Jun*))

*경희대학교 전자공학과

(접수일자: 2007년 5월 14일, 수정일자: 2007년 6월 26일, 채택일자: 2007년 7월 16일)

일반적으로 현재 사용하고 있는 홈시어터를 구성하기 위해서는 5.1 채널 이상의 아날로그 앰플을 주로 사용한다. 그러나 고성능의 시스템을 구성하기 위해서는 스피커의 출력이나 효율을 고려하여 음향 신호 처리를 디지털로 하는 것이 유리하다. 특히 음향을 효과적으로 분리하기 위해서는 7.1 채널의 사용이 필요하다. 본 논문에서는 홈시어터 스피커를 위한 S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프의 구조를 연구하고 설계하였다. S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프는 노이즈에 강하고 S/PDIF를 사용하여 디지털 데이터를 직접 입력받아서 처리하기 때문에 디지털 원음의 손실이 적은 우수한 성능을 보여주고 있다.

핵심용어: 홈시어터, S/PDIF, 디지털 앰프, 7.1 채널

투고분야: 뉴미디어 분야 (13)

In general, analog amplifiers for 5.1 or more channels have been used to configure home theater systems. In order to make high-performance systems, it is desirable to process audio signals in digital techniques in consideration of output and efficiency of speakers. Especially we need 7.1-channel system to separate audio signals efficiently. In this paper, we implemented the architecture of S/PDIF 7.1-channel digital amplifier for home theater systems. The amplifier shows good performance with less loss of original sounds because of both strong characteristics against noises and direct processing of input data.

Key words: Home theater, S/PDIF, Digital amplifier, 7.1-channel

ASK subject classification: New Media (13)

I. 서론

멀티미디어 환경이 발달하면서 디지털 오디오 기술 또한 빠르게 발전하고 있다. 과거에는 두 개의 채널을 사용하는 스테레오 환경이었으나 지금은 여섯 개의 스피커를 사용하는 5.1 채널이 홈시어터 시스템의 주류를 이루고 있다. 또한 컴퓨터 환경의 발달로 인해 개인용 컴퓨터를 사용하여 TV, DVD 영화, 인터넷 디지털 방송, 그리고 게임 등을 할 수 있는 HTPC (Home Theater Personal

Computer)가 연구되어 사용하고 있다. 이러한 환경의 변화와 더불어서 점차 6.1 채널과 7.1 채널의 사용이 예상되고 있다.

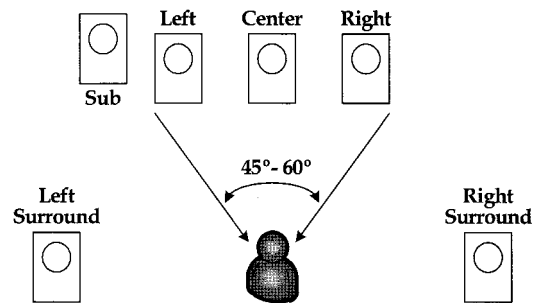


그림 1. 5.1 채널 스피커 시스템 구조
Fig. 1. System architecture of 5.1-channel speaker.

책임저자: 정 연 모 (chung@khu.ac.kr)
449-701 경기도 용인시 기흥구 경희대학교 전자공학과
(전화: 031-201-2585; 팩스: 031-202-6014)

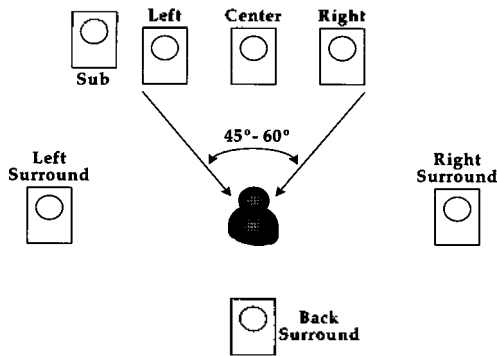


그림 2. 6.1 채널 스피커 시스템 구조
Fig. 2. System architecture of 6.1-channel speaker.

[그림 1]과 같이 5.1 채널 스피커 시스템의 경우에는 사용자 전면엔 네 개의 스피커가 위치하며 좌측(left)과 우측(right) 스피커가 45° ~ 60°의 범위를 가져야 한다.

그리고 좌우로 좌서라운드(left surround)와 우서라운드(right surround) 스피커가 위치한다.

[그림 2]와 같이 6.1 채널 스피커 시스템은 5.1 채널 구조에서 사용자의 뒷면에 스피커를 추가한 형태이다. 일반적으로 이러한 구조에서는 오디오에서 스피커까지의 배선의 길이는 20m 내외라서 발생하는 신호의 외곡이 크고 케이블의 노이즈가 문제가 된다.

현재 고품질의 음향을 제공하기 위하여 미국의 돌비 연구소에서 개발한 디지털 음향 기술인 AC-3 (Audio Coding 3)와 돌비 디지털, 그리고 DTS (Digital Theater System)와 같은 서라운드의 현장 효과를 지원하는 음원이 사용되고 있다. 이런 음향을 감상하기 위해서는 5.1 채널 이상으로 디지털 인코딩된 압축 신호를 디코딩하여 재생할 수 있는 오디오 재생 장치가 필요하다.

위성방송이나 HD 방송으로 각 가정에서 수신하게 되는 영화, 또는 실황 공연 등은 5.1 채널 이상으로 디지털로 방송되고 있지만 디코더와 AV 리시버를 갖추고 6채널 이상의 스피커를 갖추지 않으면 현장감이나 원음의 음향 효과를 감상하기 어렵다.

본 논문에서는 7.1 채널을 지원하는 고성능 디지털 앰프의 개념 및 구조를 설명하고 구현한 결과를 기존의 아날로그 앰프와 성능을 비교하였다 [1].

II. 7.1 채널 디지털 앰프 구현

7.1 채널 스피커 시스템은 [그림 3]과 같이 여덟 개의 스피커를 사용한다. 7.1 채널 디지털 앰프는 주로 S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface) 포맷의 음향

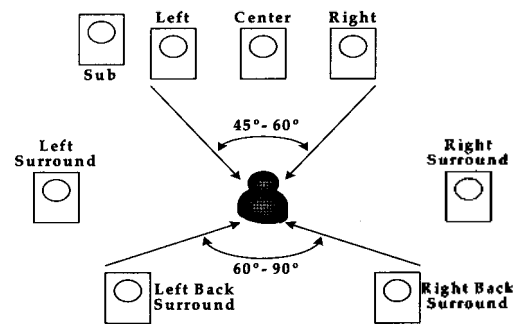


그림 3. 7.1 채널 스피커 시스템 구조
Fig. 3. System architecture of 7.1-channel speaker.

신호를 처리한다. S/PDIF는 현재 위성 방송되는 돌비 디지털 방송과 시중에서 판매되는 DVD의 디지털 서라운드를 구성하는 신호이다.

7.1 채널은 후면의 서라운드 스피커에서 입체적인 현장감을 증가 시키는 구조로서 5.1 채널보다도 음의 분리 효과가 높아야 한다. 7.1 채널 디코딩은 아날로그 신호를 PCM (Pulse Code Modulation)으로 디지털화한 데이터를 32Kbps ~ 640Kbps의 크기를 갖는 디지털 EX, DTS 등의 데이터로 압축한다.

데이터는 코덱에 의해 압축이 해제되고 24 비트 이상의 DAC를 사용하여 아날로그 신호로 전환한 후 AV 리시버 등의 증폭단을 통해 재생된다. 이 과정에서 데이터의 손실을 최소화하기 위하여 디지털 신호인 S/PDIF 포맷 그대로 디지털앰프를 설계, 연결하면 효율도 효과적이며 레코딩된 원음 그대로 재생할 수 있다 [2].

2.1. 기존의 디지털 앰프 구조

기존의 디지털 앰프는 [그림 4]와 같이 구조를 가지고 있으며, 음향 신호를 PWM (Pulse Width Modulation)이라고 하는 디지털 신호의 한 형태로 변환시킨 다음 이를 증폭한다. 그리고 증폭된 PWM신호를 LPF (Low Pass Filter)를 통과시켜 음향 신호를 출력한다.

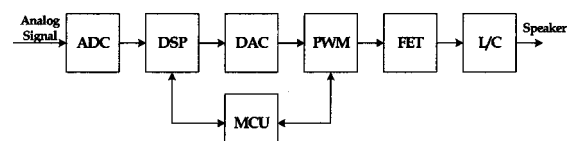


그림 4. 기존의 디지털 앰프 구조
Fig. 4. Present digital amp. architecture.

이러한 구조를 가지고 고성능의 디지털 앰프를 구현하기 위해서는 PWM 코드로 변환하는 디지털 신호처리 알고리즘과 고속으로 동작하는 DSP (Digital Signal Processing) 설계 기술, 그리고 소신호 PWM을 대전력

PWM으로 디지털 스위칭 증폭하는 전력 전자기술등이 필요하다 [3].

2.2. 제안하는 디지털 앰프 구조

현재 대부분의 7.1 채널 스피커 시스템은 아날로그 방식으로 외부에 별도의 디지털 리시버를 사용한다. 주로 DVD 플레이어에만 연결 사용되며 TV, PC, VCR 등과 같이 다양한 AV 기기들을 폭넓고 다양하게 연결하지 못하는 문제를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 제시하고 구현한 7.1 채널 디지털 앰프는 일반 스테레오 아날로그 입력과 외부 입력을 연결할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이를 위해서 [그림 5]와 같은 구조를 가지고 있다.

DSP 연산을 위한 MCU (Micro Controller Unit)와 코덱을 거쳐서 오디오 재생을 위한 DAC를 통해 스피커로 출력한다.

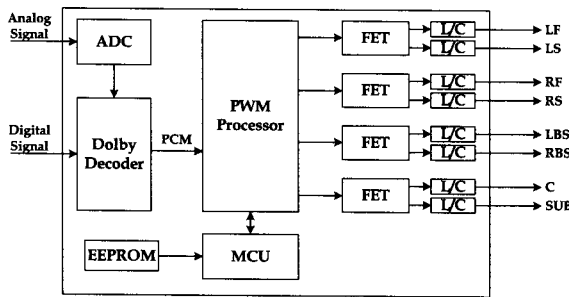


그림 5. 7.1 채널 디지털 앰프 구조
Fig. 5. 7.1-channel digital amp architecture.

DSP (Digital Signal Processing) 연산을 위한 MCU (Micro Controller Unit)와 코덱 (codec)을 거쳐서 오디오 재생을 위한 DAC (Digital Analog Converter)를 통해 스피커로 출력한다.

음향신호의 입력은 DVD, 일반적인 오디오, TV, 게임기, 컴퓨터 등이 음향신호 출력을 연결한다. 각 기기에 따라 스테레오 아날로그나 S/PDIF 디지털 오디오 신호를 입력받는다.

신호 선택부에서는 입력 신호 중 하나의 입력 신호를 선택하여 Dolby Decoder로 전송한다. 즉, 아날로그 신호의 경우에는 ADC를 사용하여 디지털 신호로 변환하고 S/PDIF 단자로부터 입력된 디지털 데이터는 각 채널 별로 데이터를 해제 시켜 신호 변환부인 Dolby Decoder로 전송한다.

Dolby Decoder에서는 디지털 신호의 타이밍 분배 등을 실시간으로 처리하여 7.1채널 구현을 위해 디지털 데이터의 증폭부인 PWM (Pulse Width Modulation) Processor로 전송한다.

2.3. PWM Processor

PWM Processor는 [그림 6]과 같은 구조를 가지고 있으며, 디지털 데이터의 출력을 높이기 위해서 펄스폭을 변조시키는 역할을 수행한다. 펄스의 폭을 변조시킨 후에는 증폭부인 FET (Field Effect Transistor)로 전달한다. 또한 각 채널의 크기도 PWM Processor에서 제어한다.

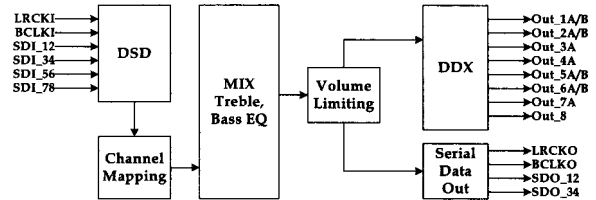


그림 6. PWM Processor 블록 다이어그램
Fig. 6. PWM processor block diagram.

SDI_12, SDI_34, SDI_56, 그리고 SDI_78를 통해서 두 개 채널씩 짝을 이룬 디지털 음향 신호가 시리얼로 입력된다. 이 신호들을 DSD (Direct Stream Digital)에서 LRCKI와 BCLKI에 동기를 맞추어 받아들인 후에 각 채널별로 24 비트로 만들어 Channel Mapping 블록에서 채널 별로 신호를 분리한다. 그리고 이퀄라이저와 볼륨제한 블록을 거쳐서 DDX (Direct Digital Amplification) 블록이나 Serial Data Out 블록을 거쳐서 음향 신호를 출력한다. DDX의 디지털 신호 상태를 그대로 증폭하여 출력하는 기능을 담당한다.

2.4. L/C 로우패스 필터

PWM Processor에서 변조된 신호는 저전력으로서 스피커를 구동하기 위해서는 고출력으로의 증폭이 필요하다. 변조된 펄스 신호를 FET에서 출력을 높인다. 이때 출력된 신호는 고주파이다. 이 고주파는 노이즈의 발생 원인이다. 따라서 L/C 로우패스 필터를 사용하여 가청주파수 이외의 불필요한 대역을 제거 시켜서 스피커로 음향 신호를 전달한다. [그림 7]은 L/C 로우패스 필터의 구조를 나타내고 있다.

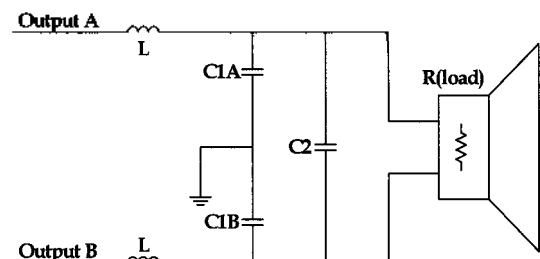


그림 7. L/C 필터 구조
Fig. 7. L/C filter architecture.

III. 구현 결과

본 논문에서 연구하고 구현한 홈시어터 스피커를 위한 S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프는 [표 1]과 같이 우수한 동작 성능을 가지고 있다.

전체적인 성능에서 신호대 잡음비를 나타내는 S/N 비는 75dB 보다 높고, 총 고조파 왜곡을 나타내는 THD (Total Harmonic Distortion)도 0.5% 이하이다.

동일한 주파수와 동일출력 (1W / 20Hz-20KHz)에서 아날로그 앰프, 기존의 디지털 앰프, 그리고 구현한 디지털 앰프의 신호 대 잡음비를 국가 공인 시험기관인 TESCO에서 측정한 결과 [그림 8, 9, 10]과 같다.

표 1. 7.1 채널 디지털 앰프의 주요 성능

Tab. 1. Performance of 7.1-channel digital amp.

주요 성능	단위	개발 목표치
1. S/N Ratio	dB	≥ 75dB
2. THD Performance	%	< 0.5%
3. HUM & Noise	mV	≤ 3mV
4. Separation	dB	≥ 50dB
5. Frequency Response	Hz	≥ 20 ~ 20K
6. Operation Temp.	℃	≥ -30 ~ + 85

신호 대 잡음비가 아날로그 앰프는 66 dB, 기존의 디지털 앰프는 78 dB, 그리고 구현한 앰프는 96 dB로 성능이 개선되었다.

입력으로 아무 신호도 가해 주지 않은 상태에서 제품 자체의 잡음을 나타내는 험 노이즈를 비교한 결과는 [그림 11, 12, 13]과 같다.

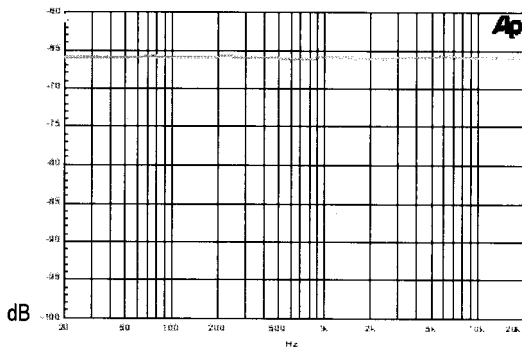


그림 8. 아날로그 앰프의 신호 대 잡음비
Fig. 8. S/N ratio of analog amp.

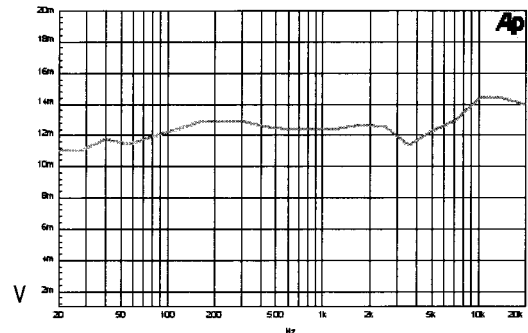


그림 11. 아날로그 앰프의 험 노이즈
Fig. 11. Hum noise of analog amp.

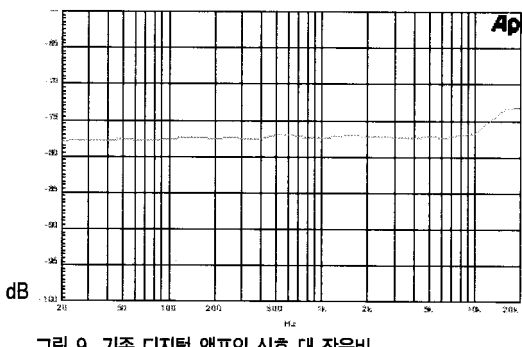


그림 9. 기존 디지털 앰프의 신호 대 잡음비
Fig. 9. S/N ratio of present digital amp.

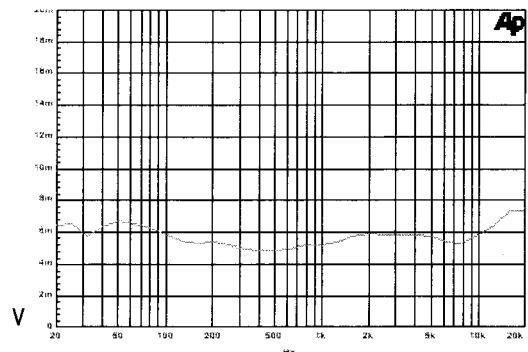


그림 12. 기존 디지털 앰프의 험 노이즈
Fig. 12. Hum noise of present digital amp.

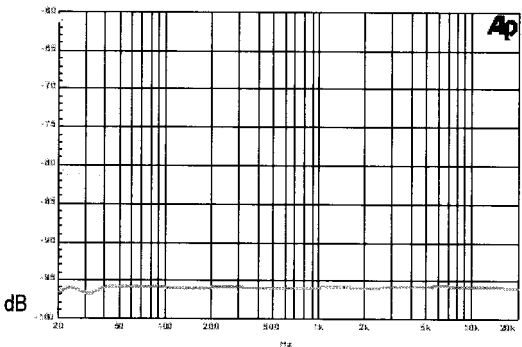


그림 10. 구현한 앰프의 신호 대 잡음비
Fig. 10. S/N ratio of realized digital amp.

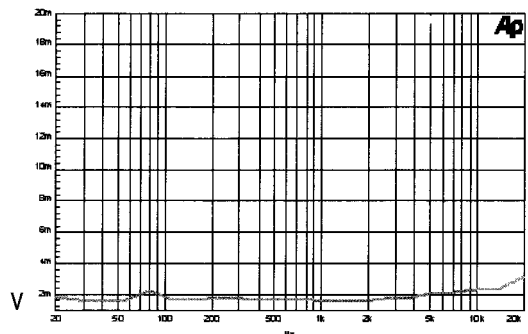


그림 13. 구현한 디지털 앰프의 험 노이즈
Fig. 13. Hum noise of realized digital amp.

힘 노이즈가 아날로그 앰프는 12 mv, 기존의 디지털 앰프는 6 mv, 그리고 구현한 앰프는 2 mv로 성능이 개선되었다.

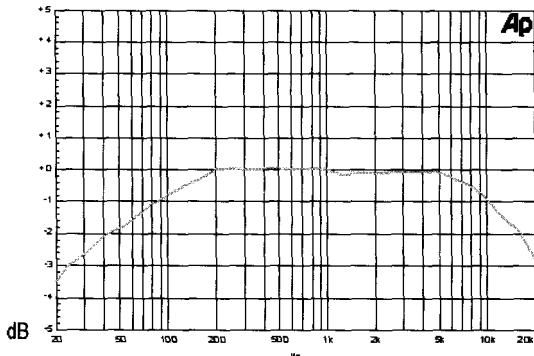


그림 14. 아날로그 앰프의 주파수 응답
Fig. 14. Frequency response of analog amp.

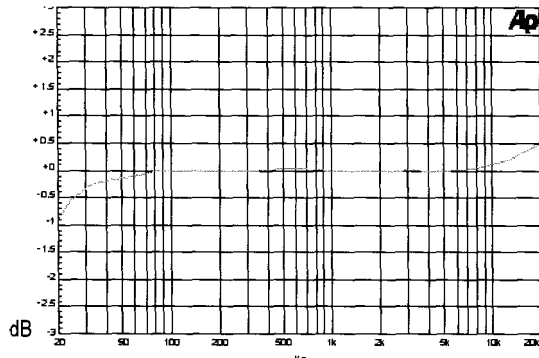


그림 15. 기존 디지털 앰프의 주파수 응답
Fig. 15. Frequency response of present digital amp.

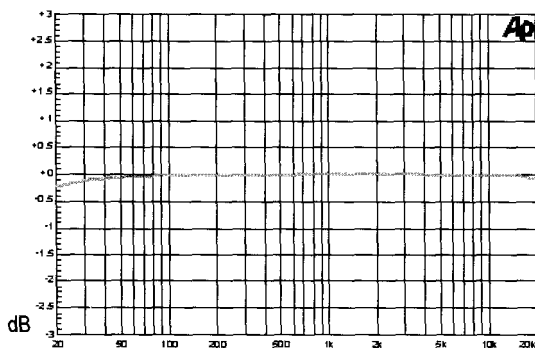


그림 16. 구현한 앰프의 주파수 응답
Fig. 16. Frequency response of realized digital amp.

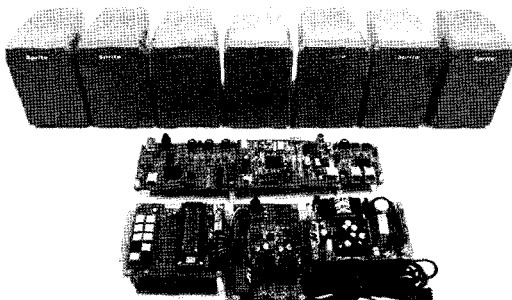


그림 17. S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프 구현 결과
Fig. 17. Development of S/PDIF 7.1-channel amp.

표 2. 기존 앰프와의 비교
Tab. 2. comparison with present amp.

아날로그 앰프	디지털 앰프
노이즈 개선에 한계	노이즈에 강함
소형, 경량화 한계성	소형, 경량화 설계 가능
발열로 인한 효율의 저하	적은 열 발생과 고효율
다양한 음장 구현이 어려움	다양한 음장 구현 가능
저출력 앰프에 유리	고출력 앰프에 유리
고출력으로 갈수록 원가 및 사용 면적 상승	원가 절감 및 공간의 제약 확보

정격 출력을 가지고 주파수 응답을 비교한 결과는 [그림 14,15,16]과 같다.

구현한 디지털 앰프의 주파수 응답이 아날로그 앰프나 기존의 디지털 앰프보다 가청 주파수 전 대역에서 균일하다. 실제 구현한 결과는 [그림 17]과 같다 [4, 5, 6].

IV. 기존 앰프와의 차별성

S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프는 노이즈에 강하고 디지털 데이터를 직접 입력받아 처리하기 때문에 디지털 원음의 손실이 작기 때문에 우수한 성능을 보인다. 또한 신호의 증폭 단계가 디지털 상태에서 이루어지므로 아날로그 증폭 회로와 비교할 때 신호의 왜곡이 근본적으로 방지된다. 그리고 음향 소스로부터 앰프로 신호가 전달되는 DAC 과정에서 음질의 열화를 방지할 수 있는 이점이 있다.

기존의 아날로그 앰프는 소자의 열잡음에서 기인하는 노이즈가 있기 때문에 일정 수준 이상의 S/N 비를 갖는 증폭기의 개발이 이론상 불가능하다. 그러나 디지털 앰프는 증폭에 관여하는 소자가 종단의 스위칭 FET 뿐이므로 열잡음과 관계없이 양자화하는 크기에 비례하여 큰 S/N 비를 확보할 수 있다.

V. 결론

일반적으로 홈시어터를 구성하기 위해서는 5.1 채널 이상의 아날로그 앰프를 주로 사용한다. 그러나 고 성능의 시스템을 구성하기 위해서는 스피커의 출력이나 효율을 고려하여 음향 신호 처리를 디지털로 하는 것이 유리하다. 특히 음향을 효과적으로 분리하기 위해서는 7.1 채널의 사용이 필요하다. 본 논문에서는 홈시어터 스피커를 위한 S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프의 구조를 연구하고 설계하였다.

S/PDIF 7.1 채널 디지털 앰프는 노이즈에 강하고 S/PDIF를 사용하여 디지털 데이터를 직접 입력받아 처리하기 때문에 디지털 원음의 손실이 적은 우수한 성능을 보여주고 있다.

디지털 앰프 프로세서는 디지털 연산 칩이기 때문에 각종 전처리 알고리즘을 보다 손쉽게 이식할 수 있다. 따라서 기존 아날로그방식에서 별도 DSP 칩으로 구현해야 했던 일들이 디지털 앰프에서는 한 개의 칩으로 일괄처리가능해져, 아날로그 부분이 극소화 되므로 필터부름 제외하면 한 개의 주문형 반도체로 제작이 가능하다. 따라서 대량 생산에 의하여 생산비를 매우 낮출 수 있다.

참고 문헌

1. X.Bosun, "Signal Mixing for a 5.1-Channel Surround System -Analysis and Experiment," *AES Journal*, 49 (4) 263, 2001.
2. C. Busbridgem Y. Huang, and P. A. Fryer, "Crossover Systems in Digital Loudspeakers," *AES Journal*, 50 (10) 791, 2002.
3. B. Forouzan, *Data Communications and Networking Third Edition*, (McGraw Hill, 2003)
4. <http://para.maximic.com/compare.asp?Fam=RS485&Tree=Interface&HP=Interface.cfm&In>.
5. http://whatis.techtarget.com/definition/0.,sid9_gci817575,00.html.
6. http://www.cirrus.com/ev/products/pro/areas/mixedsig_av.html.

저자 약력

• 권오균 (Ohkyun Kwon)



1986년 : 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년~현재 : 한국스프리트 대표
 2002년 : 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년~현재 : 경희대학교 전자공학과 박사과정

• 송문빈 (Moonvin Song)



1998년 : 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 : 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 : 경희대학교 전자공학과 (공학박사)

• 정연모 (Yunmo Chung)



1980년 : 경북대학교 졸업
 1982년 : KAIST (공학석사)
 1982년~1987년 : 경제기획원 산하차리관
 1982년 : 미국 미시간주립대학교 (공학박사)
 1992년~현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수

• 전계석 (Kye Suk Jun)



1969년 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수