

노인성 난청 보상을 위한 양 이 보청 모듈 설계

이광*

Design of a Stereo Hearing Aid Module for Presbycusis

Kwang Lee*

요 약

본 논문에서는 기존에 제안한 노인성 난청으로 인한 청력도 감쇄를 보상하는 회로의 고주파 잡음 특성을 개선하고, 입체 음향을 지원하는 양 이(耳)형 보청 모듈을 설계·제작하였다. 고 이득 조건에서 경우에 따라 발생하는 기존 회로의 고주파 잡음 원인을 모의실험을 통해 분석하였다. 양 이 형 모듈에는 조절 대상 반대쪽 귀에는 음을 소거하여 보다 정확하게 오른쪽과 왼쪽 귀에 맞는 증폭 이득을 조절할 수 있도록 음 소거 스위치를 추가하였다.

ABSTRACT

In this paper, we improved the high frequency noise characteristics of the previously proposed hearing aid circuits for presbycusis, and we designed and fabricated a stereo hearing aid module. The cause of high frequency noise, which occurs in some cases in the previous circuits under high gain conditions, was analyzed through simulations. Two mute switches were added to adjust each boosting gain for right and left ears more accurately by muting the sound of the other ear when adjusting the gain of one ear in the stereo hearing aid module.

키워드

Presbycusis, hearing aid, high frequency boost, analog equalizer
노인성 난청, 보청기, 주파 증폭, 아날로그 이퀄라이저

1. 서 론

노인성 난청(presbycusis)은 청각신경계의 노화로 생기는 현상으로 저주파 대역에 비해 고주파 대역의 청력이 더 떨어지는 증상을 보인다. 출산율 감소와 평균 수명의 증가로 사회의 노령화가 가속되고 있어 우리나라에서도 노인성 난청은 중요한 보건 과제 중 하나로 평가되고 있다[1-7]. 청각 장애는 삶의 질 저하를 초래하게 된다. 귀속형 보청기는 가격, 사용자 편

의성 부족 등으로 노인성 난청 문제를 완벽하게 해결하기에는 한계가 있다. 디지털 귀속형 보청기에 비해 가격이 저렴하고 간단한 조작으로 개인의 청력 손실을 보상할 수 있는 아날로그 방식의 고주파 증폭회로를 참고 논문 [8]에서 제한하였다. 기존에 제안된 구조는 단위 이득기(unity gain)와 미분기(differentiator)의 주파수 특성 곡선이 만나는 점의 주파수가 임계주파수(ω_c)가 된다. 임계주파수 이하에서는 주파수에 무관하게 전압 이득이 일정하며, 임계주파수 이상에서

* 교신저자: 울산과학기술대학교 전기전자공학부
• 접수 일 : 2020. 05. 25
• 수정완료일 : 2020. 07. 05
• 게재확정일 : 2020. 08. 15

• Received : May. 25, 2020, Revised : Jul. 05, 2020, Accepted : Aug. 15, 2020
• Corresponding Author : Kwang Lee
School of Electrical and Electronic Engineering, Ulsan College,
Email : klee@uc.ac.kr

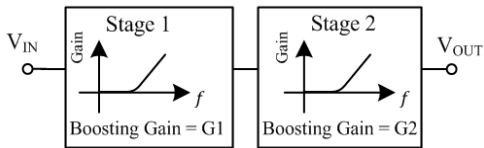
증폭도가 주파수에 비례하여 증가한다. 그림 1에서 기존의 고주파 증폭회로와 이러한 증폭기가 2단으로 구성된 전체 고주파 증폭회로도 제시하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 기존 보청 모듈은 그림 1(b)과 같은 고주파 증폭회로를 2단 직렬 연결하여 구성하였으며, 그림 1(b)의 고주파 증폭회로에 대한 입출력 전달함수 $H(s)$ 는 식 (1)과 같다.

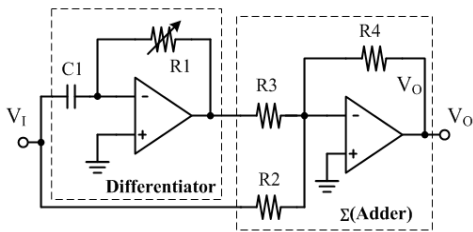
$$H(S) = -\left[\frac{R4}{R3} \cdot (-SCR1) + \frac{R4}{R2}\right] \quad (1)$$

$R2, R3$ 그리고 $R4$ 를 동일한 값의 저항으로 하고, $\omega_z = 1/(R1 \cdot C)$ 이라 하면 식(1)은 식 (2)와 같이 간단하게 된다.

$$H(S) = -\left[1 - \frac{S}{\omega_z}\right] \quad (2)$$



(a) 고주파 증폭회로 2단으로 전체회로 구성
(a) The block diagram consisting of two high-frequency boosting schematic



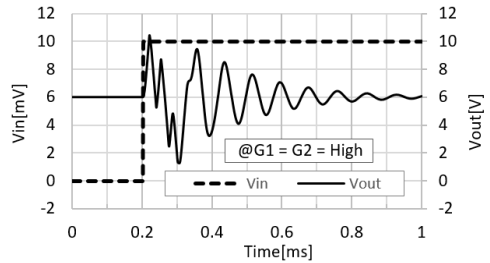
(b) 고주파 증폭 회로도
(b) The high-frequency boosting schematic

그림 1. 기존 고주파 증폭회로 구조
Fig. 1 The previously proposed high-frequency boosting circuit's structures

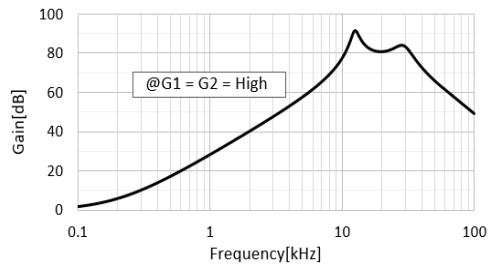
기존의 고주파 증폭회로는 이득·대역폭(gain bandwidth product)이 2MHz 정도인 연산증폭기를 이용하

여 설계하였으며, 20KHz 기준으로 각 단에서 40dB 이상의 증폭도를 얻을 수 있음을 모의실험을 통해 확인하였다. 하지만 장시간 사용할 경우 동작 환경에 따라 이득 조건에서 귀에 거슬리는 고주파 잡음이 존재하였다.

기준에는 2MHz의 이득·대역폭과 하나의 극점을 갖는 것으로 모델링한 이상적인 연산증폭기 모델로 모의실험을 하였으나, 고주파 잡음 원인 분석을 위해 제조사에서 제공하는 연산증폭기의 실제 모델 파라미터를 입수하여 모의실험을 수행하였다. 이를 통해 주파수 안정도 열화로 인해 고주파 잡음의 원인이 되는 주파수 응답의 피킹 현상과 계단 입력에 대한 시간 응답의 신호 울림(ringing) 현상이 나타남을 확인할 수 있었다(그림 2). 따라서 본 논문에서는 이러한 고주파 잡음 문제를 해결하고, 입체 음향(stereo sound)을 지원하는 고주파 증폭회로 모듈을 설계하였다.



(a) 계단과 입력에 대한 시간 응답
(a) The transient response for step input



(b) 이득의 주파수 응답
(b) The frequency response of gain

그림 2. 기존 회로의 모의실험 결과
Fig. 2 The simulation results of previous circuits

II. 보청 모듈 회로 설계

2.1 페루프 안정화 및 주파수 응답 개선

기존의 고주파 증폭회로에서 주파수 안정도 성능 저하로 인한 고주파 발진성 잡음 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 3과 같이 주파수 안정도 보상용 캐패시터(C_p)를 추가하였다[9-10].

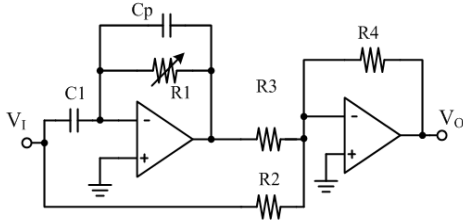
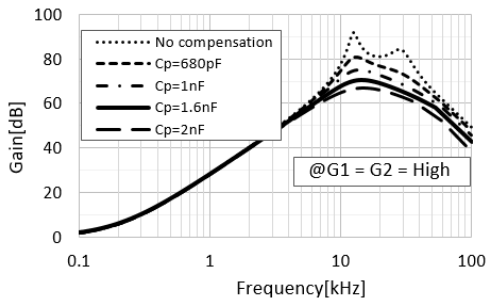
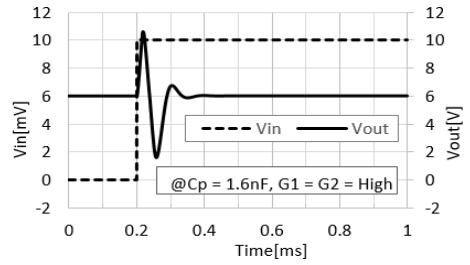


그림 3. 주파수 안정도 개선 회로
Fig. 3 Circuits for improving the frequency stability

주파수 안정도 개선을 위해 추가된 캐패시터(C_p) 용량에 따른 고주파 증폭회로의 주파수 응답 모의실험 결과는 그림 4(a)와 같다. 보상용 캐패시터의 용량이 1.6nF 이상에서는 주파수 응답에서 피킹 현상이 없어지고 계단 입력에 대한 시간 응답의 신호 울림(ringing) 현상도 현저하게 줄어들어 주파수 안정도가 개선됨을 확인하였다[그림 4]. 하지만, 보상 캐패시터로 인해 10KHz 부근의 고주파 증폭도 열화를 초래하였다.

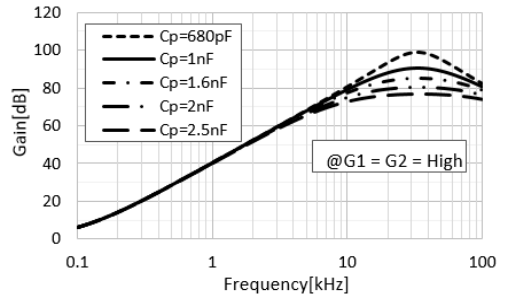


(a) 이득의 주파수 응답
(a) The frequency response of gain

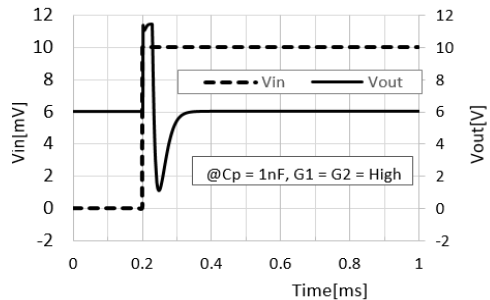


(b) 계단파 입력에 대한 시간 응답
(b) The transient response for step input

그림 4. 주파수 안정도 보상 캐패시터 C_p 를 추가한 회로의 모의실험 결과
Fig. 4 The simulation results of the circuits with a frequency stability compensation capacitor C_p



(a) 이득의 주파수 응답
(a) The frequency response of gain



(b) 계단파 입력에 대한 시간 응답
(b) The transient response for step input

그림 5. 고주파 증폭회로의 모의실험 결과
Fig. 5 The simulation results of newly designed high-frequency boosting circuits

주파수 안정도 문제를 해결하고 고주파 증폭 대역폭을 확보하기 위해 본 논문에서는 기존 연산증폭기에 비해 이득·대역폭이 더 크고, 양 이득을 지원할 경우 기존에 비해 보드 크기가 증가되는 것을 고려하여 하나의 패키지에 두 개의 증폭기가 내장된 연산증폭기를 선정하여 설계하였다. 새롭게 선정한 연산증폭기는 기존에 비해 4배 이상의 이득·대역폭을 가진다. 이로 인해 저주파 영역에서부터 더 높은 이득을 확보할 수 있었다. 그림 5는 설계된 회로의 모의실험 결과이며, 주파수 피킹 현상 없이 그림 6에서와 같이 20KHz 대역에서 90dB 정도의 이득을 얻었다.

기존에는 편의성을 고려하여 스테레오 가변 저항 하나로 2단으로 구성된 회로 각 단의 임계 주파수를 동시에 제어할 수 있도록 설계하였다. 따라서 G1과 G2는 동일한 특성을 가지며 고주파 증폭 영역에서 주파수 증가에 따라 40dB/dec의 기울기로 증폭된다.

본 논문에서는 고주파 증폭 유형의 다양화와 정밀도 향상을 위해 각 단의 이득 즉, G1과 G2를 독립적

으로 조절할 수 있도록 설계하였다. 따라서 그림 6과 같이 고주파 증폭 영역에서 주파수 증가에 따라 40dB/dec와 20dB/dec의 기울기로 증폭할 수 있다.

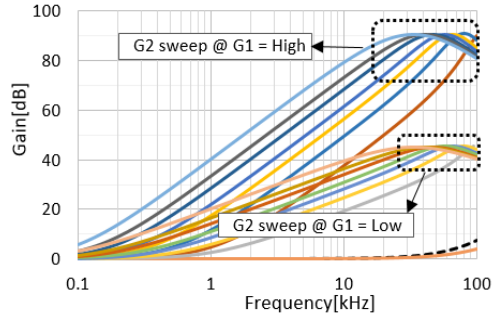


그림 6. 제안 회로의 주파수 응답 모의실험 결과
Fig. 6 The simulation results: frequency response of the newly proposed circuits

2.2 양 이 보청 모듈 회로 설계 및 제작

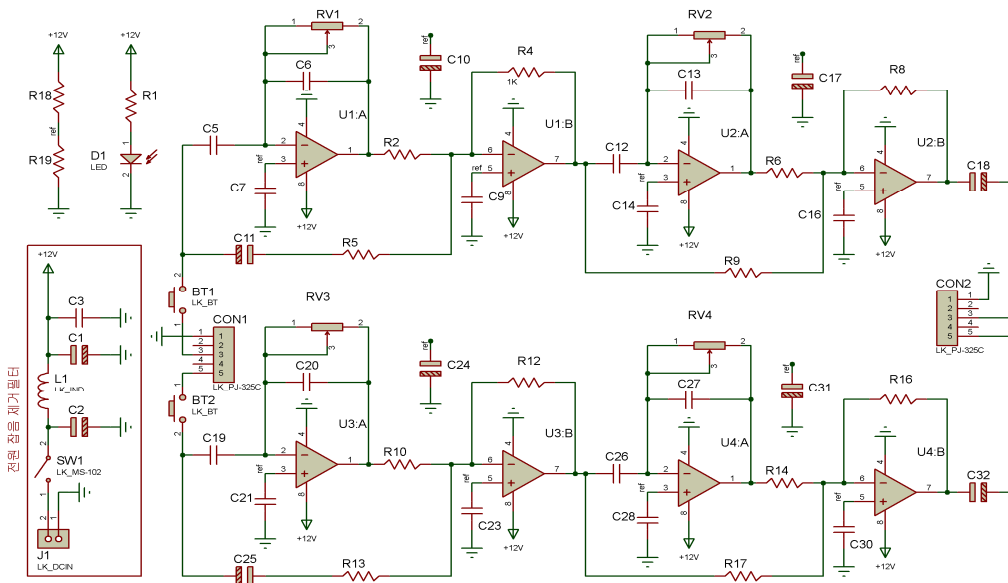


그림 7. 설계된 양 이 고주파 증폭 모듈 전체 회로도
Fig. 7 The schematic of newly designed high-frequency boosting module for stereo sound

주파수 보상용 캐패시터를 포함하고 대역폭이 기존에 비해 4배 이상인 연산증폭기로 구성된 양 이 보청 모듈의 전체 회로도를 그림 7과 같이 설계하였다. 전원 잡음을 줄이기 위해 전원 잡음 제거 필터를 추가하였다. 음 소거 스위치 BT1과 BT2는 헤드폰을 착용한 상태에서 오른쪽과 왼쪽 귀의 증폭 이득을 각각 조절할 수 있도록 조절 대상 반대쪽 귀에는 소리가 들리지 않게 하는 기능을 한다.

이득 조절 시 사용되는 음 소거 스위치는 평상시에는 연결되어 있고 눌렀을 때만 개방되는 버턴 방식의 스위치이다. 입력과 출력의 오디오 신호 연결을 위한 3.5mm 스테레오 오디오 잭, 전원 스위치 그리고 켜짐 상태 표시 LED를 추가하여 그림 8과 같이 제작하였다.

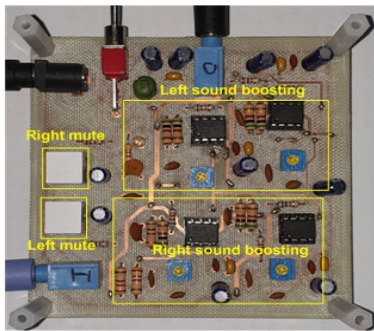
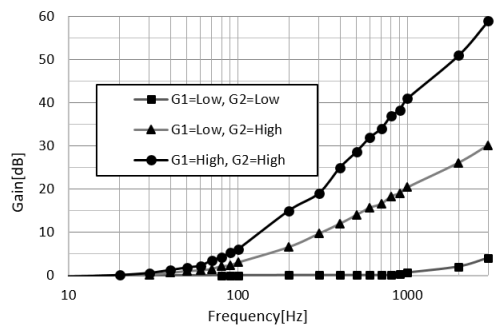


그림 8. 제작된 양 이 고주파 증폭 모듈 사진
Fig. 8 The photograph of fabricated high-frequency boosting module for stereo sound

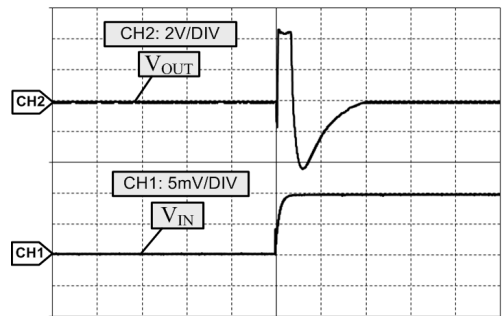
III. 실험 결과

본 논문에서 제작된 고주파 증폭회로의 증폭 이득은 가변저항으로 조절하므로 연속적으로 가변 된다. 고주파 증폭도가 아주 낮을 경우($G1=Low, G2=Low$), 중간일 경우($G1=Low, G2=High$) 그리고 아주 높을 경우($G1=High, G2=High$) 등 3개의 대표적인 경우에 대해 전압 이득 주파수 특성을 측정하였으며, 그 실험 결과는 그림 9(a)와 같다. 저주파 네트워크 분석기를 보유하지 못해 파형발생기와 오실로스코프를 사용하여 주파수를 가변 하면서 측정하였다. 증폭도가 아주 높은 경우 합수 발생기의 잡

음 및 오실로스코프 미세 전압 측정 한계로 인해 60dB 이상의 전압 이득은 측정이 불가능하여 주파수 범위를 3kHz 이하의 범위에서만 측정하였다. 3kHz 이하 주파수 영역에서 주파수 응답은 모의실험과 거의 유사함을 확인하였다. 그림 9(b)는 고 이득 조건에서 계단파 입력에 대한 출력 파형을 보여 주고 있다. 측정 결과 계단파 입력에 대한 시간 응답은 10V 정도의 진폭을 가지는 모의실험결과에 비해 진폭이 대략 1V 가량 낮게 측정되었지만, 신호 울림(ringing) 형태는 거의 유사함을 알 수 있다.



(a) 이득의 주파수 응답
(a) The frequency response of gain



(b) 계단파 입력에 대한 시간 응답
(b) The transient response for step input

그림 9. 제작된 고주파 증폭회로 실험 결과
Fig. 9 The experimental results of the fabricated high-frequency boosting circuits

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 노인성 난청 해소를 위해 기존에 제안된 증폭회로의 고주파 잡음 문제를 해결하고 양 이 형으로 제작하고 측정하였다. 향후 과제로는 저 주파 네트워크 분석기를 입수하여 20KHz까지 주파 수 응답을 측정하고, 계단과 입력에 대한 시간 응답 특성이 모의실험에 비해 1V 가량 진폭이 감소되는 현상을 분석할 필요가 있다.

고주파 증폭으로 발생하는 고주파 잡음을 줄이고 양 이 형으로 제작함으로써 보청 전화기뿐만 아니라 오디오 기기에서 우월한 고주파 증폭 특성을 제공하는 이퀄라이저로 바로 적용 가능하다. 따라서 고령화 사회에서 삶의 질을 향상하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2019년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행됨

References

[1] G. A. Gates and J. H. Mills, "Presbycusis," *Lancet*, vol. 366, no. 9491, 2005, pp. 1111-1120.

[2] S. Hwang, E. Lim, H. KIM, J. Park, S. Jarng, and S. Lee, "Sex differences in a cross sectional study of age-related hearing loss in Korean," *Clinical and experimental otorhinolaryngology*, Mar. 2010, pp. 27-31.

[3] M. Kim, "Scientometric Analysis through Centrality Analysis of Graph for Linkage Relation of Keyword for Elder's Rehabilitation and Healthcare," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 2, Apr. 2019, pp. 447-452.

[4] H. Ju, H. Kim, and D. Lim, "The Effects of Frequency Lowering Function Hearing Aids on Korean Word Recognition Scores in the High Frequency Hearing Impaired," *Audiology and Speech Research*, Dec. 2012.

[5] S. Heo, "Effectiveness of the Hearing Handicap Inventory for Elderly (HHIE) in Measuring the Current State of Presbycusis," *Communication Sciences & Disorders*, Feb. 2017.

[6] E. Lee, "The Music Culture of Aging Society and the Construction of its Service System," *Music and culture*, vol. 18, Mar. 2008.

[7] H. Lee, "Acoustic Feedback and Noise Cancellation of Hearing Aids by Deep Learning Algorithm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 6, 2019, pp. 1249-1256.

[8] K. Lee and Y. Jung, "Design of High Frequency Boosting Circuits Compensating for Hearing Loss," *J. of The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 54, no. 3, Mar. 2017, pp. 138-144.

[9] K. H. Lundberg, "Internal and external op-amp compensation: A control-centric tutorial," *Proc. Amer. Control Conf.*, Boston, USA, June/July 2004, pp. 5197-5211.

[10] H. Lee and P. K. T. Mok, "Active-feedback frequency-compensation technique for low-power multistage amplifiers," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 38, no. 3, Mar. 2003, pp. 511-520.

저자 소개

이광(Kwang Lee)



1995년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학부 졸업(공학석사)

2003년 한국과학기술원 전기및전자공학부 졸업(공학박사)

2003년 ~ 2012년 삼성전자 통신연구소

2012년 ~ 현재 울산과학기술대학교 전기전자공학부 교수

※ 관심분야 : 회로설계, 이동통신시스템