

논문 2025-3-7 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2025.09.07>

마이크로컨트롤러 및 소프트웨어에 의한 오디오 시스템 출력 보호 기능 구성에 관한 연구

권성열*, 이현창**†

A study on the configuration of audio system output
protection functions using microcontrollers and software

Sung-Yeol Kwon*, Hyun-Chang Lee**†

요 약

본 논문에서는 대출력 오디오 시스템에서 필요한 보호기능을 마이크로컨트롤러와 소프트웨어를 이용해 회로는 더 간단하면서 지능적인 제어가 가능하도록 구성하였다. 이를 위해 대출력 오디오 시스템에서 필요로 하는 보호 사항에 대해 고찰하고, 이를 마이크로컨트롤러를 이용해 제어하기 위한 하드웨어와 소프트웨어를 제시하였다. 제시한 방법의 효과를 입증하기 위해 실험회로와 소프트웨어를 구성해 실험을 진행하였으며, 그 결과 3가지 보호 사항에 대한 동작 결과를 확인하였다. 이러한 보호회로의 디지털화로 인해 매우 복잡하고 많은 수의 소자를 필요 했던 기존의 아날로그 방식 보호회로의 소자 수가 크게 감소하면서도, 그 기능은 마이크로컨트롤러로 인해 더욱 스마트해 질 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the protection functions required in a high-power audio system were configured to enable more intelligent control using simple hardware using a microcontroller and software. To do this, we examined the protection requirements for high-power audio systems and presented hardware and software for controlling them using a microcontroller. To verify the effectiveness of the proposed method, we conducted experiments by configuring hardware and software, and the experimental results confirmed the reliable operation of the three protection items. The digitalization of these protection circuits has significantly reduced the number of components in conventional analog protection circuits, which were very complex and required a large number of components, while their functions can be made smarter by using microcontrollers.

한글키워드 : 오디오 시스템, 출력보호, 마이크로컨트롤러, 소프트웨어, OCL 증폭기

keywords : audio system, output protection, microcontroller, software, OCL Amp

* 부경대학교 전기공학전공

** 공주대학교 정보통신공학과

† 교신저자: 이현창(email: hclee@kongju.ac.kr)

접수일자: 2025.09.02. 심사완료: 2025.09.07.

게재확정: 2025.09.20.

1. 서 론

최근의 가전제품을 비롯한 대부분의 전자제품은 디지털화 경향이 뚜렷해지고 있다. 과거 아날

로그 회로의 대표였던 텔레비전, 전화기, 녹음기 등을 비롯해 전기밥솥, 냉장고, 세탁기, 인터폰 등 대부분의 전자제품들이 디지털화 되어있으며, 이러한 추세는 더욱 확산될 것으로 예상된다 [1-3]. 그러나 여전히 아날로그 상태를 유지하고 있는 것이 오디오 시스템 분야인데, 소형 오디오의 경우에는 상당수 디지털화 되어 스마트폰 등에 내장되고 있으나, 대출력 오디오의 경우 여전히 대형 트랜스포머에 의한 전원회로, 아날로그 회로에 의한 각종 구동회로나 보호회로로 구성된다. 이는 대출력 오디오 시스템의 특성에 의해서 어느 정도 용인 될 수 있는 부분도 있으나, 상당 부분은 엔지니어의 오디오 시스템에 관한 관심 부족이 원인인 것으로 보인다[4,5].

대출력 오디오 시스템 분야 중 초-저음(sub-woofer) 영역은 일부 디지털화 된 사례가 종종 있다. 예를 들어 PWM신호와 MOSFET 소자를 이용해 오디오 출력을 구성해 효율을 극대화 시키고[6], 최근의 오디오 음질 조절은 FFT(Fast Fourier Transform) 기술에 의한 그래픽 이퀄라이저(graphic equalizer) SEA(Sound Effect Amplifier) 등을 이용하고 있다[7]. 이러한 효율 증대나 음질 조절 분야 등에는 디지털 기술이 상당히 확대되었으나 대출력 오디오 시스템의 보호에 관해서는 아직 그 활용이 미비한 실정이다. 대출력 오디오 시스템은 출력이 매우 큰 관계로 전원 투입 시 회로 내부의 커패시터 등 소자들이 안정상태로 진입하기 전의 불안정 상태에서 발생하는 소음이나 충격음 등으로부터 스피커를 보호하기 위해 뮤트(mute) 기능이 반드시 필요하며, 이 부분은 디지털화가 상당히 진행되어 있지만, 이 이외에는 큰 변화가 없는 것이 현실이다.

본 논문에서는 대출력 오디오 시스템에서 필요로 하는 보호 사항을 살펴보고, 이를 마이크로컨트롤러와 소프트웨어를 이용해 더 간단하면서

한층 스마트한 보호회로를 구현하고자 한다.

2. 오디오 시스템 출력 보호 사항

2.1 뮤팅(Muting) 기능

오디오 시스템의 전원 투입 시, 회로 각 부에 설치된 커패시터들은 모두 방전된 상태이며, 이들이 정상상태로 진입하는 동안 시스템이 불안정한 천이상태가 잠시 지속된다. 이 때 커패시터의 천이상태가 크게 증폭되어, 전원 투입 직후 스피커에서 매우 큰 충격음이 발생하며, 이는 증폭기와 스피커에 무리가 가해지고, 심지어 스피커가 파손되는 경우도 발생하며, 특히 사용자 입장에서 전원 투입 시 마다 매우 큰 충격음으로 인해 불쾌감을 주고, 고급 오디오의 이미지가 상실된다. 이 때문에 대출력 오디오 시스템 또는 고급 오디오 시스템의 경우 전원이 투입된 직후 스피커를 오디오 증폭기와 분리하고, 시스템 안정시간이 지난 후 스피커가 접속되도록 뮤트 회로를 내장한다[8]. 최근의 오디오 시스템은 상당부분 디지털화 되어 이러한 뮤트회로가 기본적으로 내장된다.

2.2 DC 오프셋 검출 및 차단 기능

최근 오디오 시스템의 전력증폭기는 음질 향상에 유리한 OCL(Output Condenser-less) 증폭기를 직접 사용하거나 또는 저전압 상황(자동차 전원 등)의 경우 OCL 증폭기를 BTL(Balanced Trans-less) 접속해 사용한다[9]. OCL 방식은 출력부의 coupling capacitor를 생략한 방식으로서, 출력 주파수의 제한이 없어져 음질 면에서 매우 유리하지만, 심지어 직류까지 출력되므로 이에 유의해야 한다. 만약 증폭기 부분의 오차에 의해 약간의 직류전압이 출력될 경우, 스피커는 직류에 대해 거의 0옴에 가까운 임피던스를 가지므로

매우 큰 전류가 흘러 고가의 스피커가 파손되기 때문에 심각한 상태에 노출된다. 이에 따라 OCL 증폭기를 구성할 때 출력부에 직류전압이 발생하지 않도록 피드백을 이용해 직류전압을 억제하도록 구성하지만, 피드백 저항이나 특히 반도체 소자들의 온도에 의한 상태 변화에 따라 회로의 균형이 무너져 출력에 직류가 발생할 가능성이 존재하므로 이러한 보호회로가 필요하다. 그러나 대부분의 오디오 시스템은 이를 내장하지 않으며 속도단(速斷) 퓨즈(fast-acting fuse)를 사용한다.

2.3 Power-off 검출 기능

오디오 시스템의 전원을 off시 전원전압이 점차로 낮아지므로 증폭기 시스템이 불안정 상태를 거쳐 비로소 완전히 off된다. 이 기간동안 오디오 출력 또한 불안정 상태이므로 소리에 왜곡이 발생하면서 작아지는 현상은 물론 스피커에 직류가 출력되어 스피커가 파손될 수 있기 때문에 사용자가 스위치를 off하면 먼저 스피커를 차단하고 그 후 전원을 off하도록 구성된다. 그러나 예상치 못한 정전이나 사용자가 전원 플러그를 제거하는 등으로 인한 전원 off는 정상적인 절차를 거치지 않은 것이므로 기기가 대처할 수 없어 오디오 시스템이 위험한 상황에 노출될 수 있다.

3. 마이크로컨트롤러에 의한 기능구현

이상에서 논한 오디오 출력의 보호사항들은 표 1과 같은 마이크로컨트롤러의 특징을 활용하여 구성할 수 있다.

3.1 하드웨어의 구성

3.1.1 릴레이 제어 및 직류 검출 회로

그림 1은 마이크로컨트롤러의 포트를 이용해 릴레이를 제어하는 전형적인 회로이고, 그림 2는

출력단의 직류를 검출하는 회로이다.

표 1. 마이크로컨트롤러 활용 기능

Table 1. Functions using microcontroller

보호항목	마이크로컨트롤러 기능
Mute	Timer
DC 검출	Analog-to-Digital Conversion
전원 차단 검출	Like Watch-dog timer

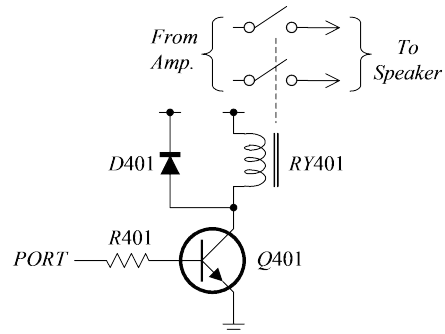


그림 1. 릴레이 제어회로

Fig. 1. Relay control circuit

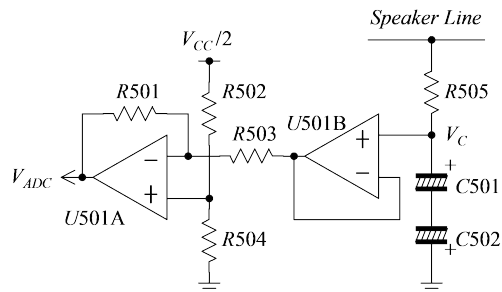


그림 2. 직류 출력 검출회로

Fig. 2. Detecting output DC circuit

그림 2의 회로에서 연산 증폭기 U501A는 차동 증폭기를 구성한 것으로서, 마이크로컨트롤러 동작전원의 절반을 기준으로 동작한다.

$$V_{ADC} = \frac{R501}{R503} \cdot \left(\frac{V_{CC}}{2} - V_C \right) \quad (1)$$

여기서, $R501 = R504$, $R502 = R503$ 이다.

즉, 검출되는 직류 신호는 (+)일수도 (-) 일수도 있으므로 이를 마이크로컨트롤러의 동작범위 내로 변환한다. 저항값들의 비율을 조절하면 전압차의 배율이 조절되어 더욱 정밀한 차이를 검출할 수 있다. U501B는 버퍼를 구성한 것으로서, U501A의 (-)입력단 전압이 V_C 쪽으로 유입되는 것을 방지한다. 또한 C501과 C502는 큰 용량을 얻으면서도 극성에 무관하도록 전해 커패시터를 무극성 접속한 것이다.

정상적인 오디오 주파수의 하한을 50Hz로 가정하면, 이 주파수를 차단하기 위해 R505와 C501, C502는 $1/50 = 20mS$ 의 시정수를 가져야 하며, 스피커의 임피던스가 최소 4Ω이라면 R505는 스피커 신호에 영향을 최소화하기 위해 이보다 최소 10배 이상, 즉 최소 80Ω 이상이어야 한다. 따라서 R505에 100배 이상인 1kΩ을 사용하면 C는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\tau = R \cdot C = 1k\Omega \cdot C \geq 20mS$$

$$\therefore C \geq 20\mu F \quad (2)$$

C501과 C502의 합성 값이 최소 20μF이어야 하므로 각각 40μF 이상을 사용한다.

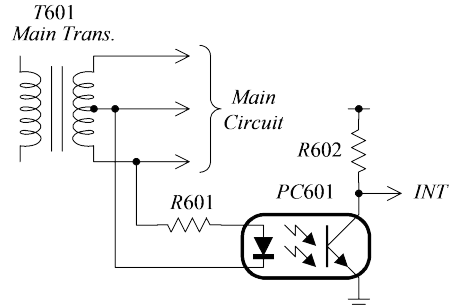
3.1.2 전원 검출 회로

그림 3에 전원 상태를 검출하는 회로를 나타내었다. 주 트랜스포머로부터 추출한 교류전압을 포토-커플러(photo-coupler)를 거치면 그림 3(b)와 같은 파형이 발생하며, 이를 마이크로컨트롤러의 인터럽트(interrupt) 신호로 사용한다.

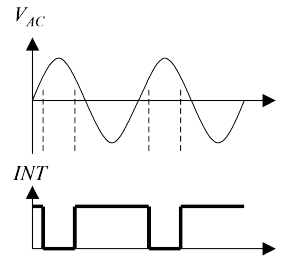
3.2 소프트웨어의 구성

마이크로컨트롤러에 전원이 투입되어 리셋이 되면 그림 4(a)에 나타낸 바와 같이 마이크로컨트롤러의 하드웨어를 초기화 한 후 뮤트 루틴을 처리한다. 이 때는 오디오 시스템 전체가 안정화

되는 시간을 확보하는 것이므로 다른 처리 없이 이 루틴에서 대기한다.



(a) 전원 검출회로



(b) 출력파형

그림 3. 전원 검출회로 및 출력파형

Fig. 3. Detecting power-line & waveform circuit

이후 정상적인 처리가 진행되면 오디오 출력의 직류 발생을 감시하는데, 마이크로컨트롤러가 이외의 다른 작업이 함께 진행된다. 직류 검출 이후에는 기타 마이크로컨트롤러 기능, 예를 들어 전원 스위치나 기능 스위치의 입력 처리 등을 진행한다. 전원 검출 기능의 경우 인터럽트에 의해 처리할 예정이므로 메인 루틴에서 특별히 처리할 사항은 없다.

3.2.1 뮤트 기능

뮤트 기능은 전원투입 초기에 회로의 안정시간을 확보하는 것이 목표이므로 정확하거나 빠른 동작을 필요로 하지 않는다. 따라서 그림 4(b)과 같이 단순한 소프트웨어 루프에 의해 시간을 경과시킨 후 릴레이를 동작시켜 구성할 수 있다.

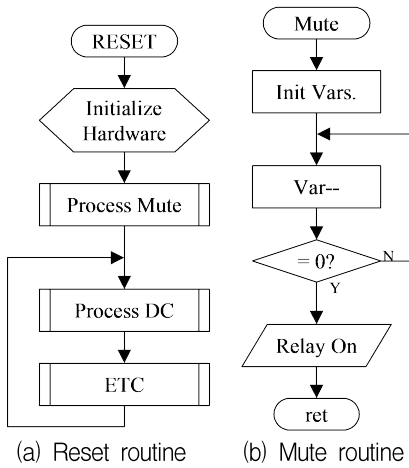


그림 4. 리셋 및 뮤트 처리
Fig. 4. Reset & mute function

3.2.2 직류 출력 검출 처리

오디오 출력에 직류가 출력되는지 감시하는 플로차트를 그림 5에 나타내었다.

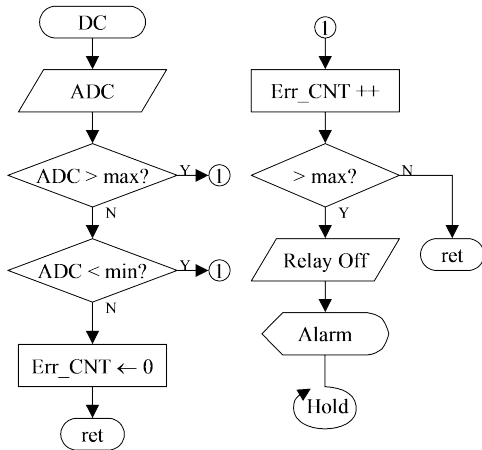


그림 5. 직류 출력 검출 처리
Fig. 5. Detecting output DC

이 루틴으로 진입하면 그림 2의 직류 검출회로 출력을 아날로그-디지털 변환(ADC)해 최대와 최소를 판단한다. 여러 카운트는 샘플링 시 수 회 연속으로 직류가 검출되면 오류로 판정해 릴레이를 off하고 알람을 가동한 상태로 대기한다.

3.2.3 전원 검출 처리

전원이 off되거나 차단 시의 검출은 그림 6과 같은 인터럽트 기능을 활용한다.

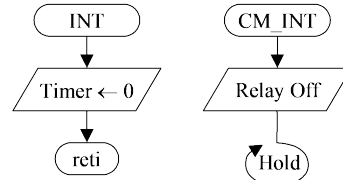


그림 6. 전원 검출 처리
Fig. 6. Process of detecting power-line

그림 3의 회로를 통해 주기적으로 발생하는 펄스는 마이크로컨트롤러의 외부 인터럽트로 인가되며, 인터럽트 처리는 그림 6(a)와 같이 카운터/타이머 회로의 값을 0으로 초기화한다. 단, 본 예에서는 증가형 카운터 회로의 경우를 예로 든다. 이러한 알고리즘에 의한 카운터/타이머 값의 히스토그램을 그림 7에 나타내었다.

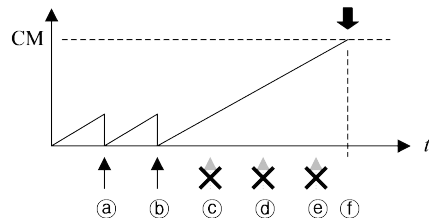


그림 7. 타이머/카운터의 히스토그램
Fig. 7. Histogram of timer/counter

그림 7에서, 주기적으로 입력되는 외부 인터럽트(a, b점)에 의해 카운터 값이 0으로 재설정되며, 정전 또는 기타 원인에 의해 전원이 차단되어 펄스가 발생하지 않아 카운트가 계속 증가한다(c - e). 카운트 값이 증가해 상한선에 도달하면(f점) 일치 인터럽트(Compare match INT.)가 발생해 그림 7(b)와 같이 릴레이를 off하고 무한 루프로 돌입해 대기상태를 유지한다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제시한 방법의 효과를 확인하기 위해 그림 8에 나타난 바와 같은 회로를 구성해 실험을 진행하였다.

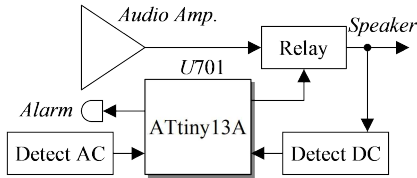


그림 8. 실험 회로
Fig. 8. Experimental circuit

마이크로컨트롤러는 Atmel의 ATtiny13A, 8핀 MCU이며[10], 릴레이 제어출력 1포트, 입력 교류 감지 1포트, 출력 직류 감지 2포트(스테레오), 알람 LED 1포트를 각각 할당하였다.

4.1 뮤트 기능 실험

그림 9에 전원 투입 시 뮤트 기능의 결과를 나타내었으며, 전원이 인가된 약 3초 후에 릴레이가 동작되는 결과가 나타났다.

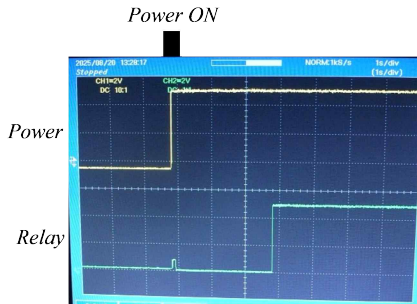


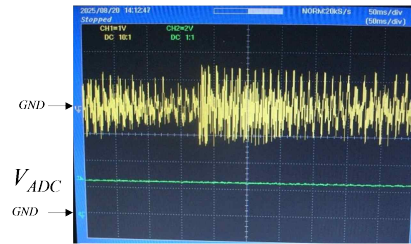
그림 9. 뮤트 실험 결과
(Ch1 : 2V/DIV, Ch2 : 2V/DIV)
Fig. 9. Result of mute function

4.2 직류 출력 감시 실험

검출 차단점은 +0.6V와 -0.6V, 즉 +5V 범위의 8비트 ADC일 때,

$$\frac{V_C}{V_{CC}} \times 2^b = \frac{0.6}{5} \cdot 256 = 30.72 \quad (3)$$

이므로 2.5V, 128 중점 기준으로 상한은 158, 하한은 98로 설정하였다.



(a) 정상 오디오 인가 시
(Ch1 : 1V/DIV, Ch2 : 2V/DIV)



(b) (+) 직류 인가 시
(Ch1 : 500mV/DIV, Ch2 : 2V/DIV)



(c) (-) 직류 인가 시
(Ch1 : 500mV/DIV, Ch2 : 2V/DIV)
그림 10. 출력 직류 검출 실험 결과
Fig. 10. Result of detecting DC output

그림 10(a)는 정상적인 오디오 출력신호를 인가했을 때의 마이크로컨트롤러 ADC단의 입력을 나타낸 것으로서, 오디오 신호는 모두 적분되어 ADC에는 바이어스 전압 2.5V만 나타남을 확인할 수 있다. 그림 10(b), (c)는 오디오 입력단에 고의로 직류를 인가했을 때의 릴레이 결과를 나

타낸 것으로서, 각각 $+0.6V$ 와 $-0.6V$ 를 넘어섰을 때 릴레이가 off됨을 확인할 수 있다.

4.3 교류 전원 차단 실험

상용 $60Hz$ (주기 $16.67ms$)의 2.5회 켜에 이르렀을 때는 $42ms$ 가 경과한다. 사용하는 마이크로컨트롤러는 $4.8MHz$ 를 선택할 수 있으며[10], 프리스케일 비율을 1024로 설정 시 197카운트에서 $42ms$ 에 도달하므로 표 2와 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{f_{OSC}} \times N_{Pre} \times N_{CNT} \\ &= \frac{1}{4.8MHz} \cdot 1024 \cdot 197 \\ &= 42.027ms \end{aligned} \quad (4)$$

표 2. 카운터/타이머의 설정
Table 2. Counter/timer configuration

	Value	Period
MCU clock	4.8MHz	0.2083 μs
Prescaler	1,024	213.33 μs
Counter	197	42.027 ms



그림 11. 교류 차단 검출 실험 결과
(Ch1 : 2V/DIV, Ch2 : 2V/DIV)

Fig. 11. Result of detecting power-line

그림 11은 동작 중인 회로의 교류 전원을 차단했을 때의 결과를 나타내었다. 그림에서 교류가 정상적으로 입력되는 상태에서의 릴레이 출력은 정상적으로 on상태를 유지하지만, 이 신호가 2개 이상 나타나지 않으면 마이크로컨트롤러는 예상

치 못한 정전으로 검출해 즉시 릴레이를 off하는 결과를 나타내었다.

5. 결 론

본 논문에서는 대출력 오디오 시스템에서 필요로 하는 보호기능을 마이크로컨트롤러와 소프트웨어를 이용해 하드웨어는 간단해지면서도 더욱 지능적인 제어가 가능하도록 구성하였다. 이를 위해 대출력 오디오 시스템의 보호 사항 3가지를 살펴보았으며, 이를 마이크로컨트롤러를 이용해 제어하기 위한 하드웨어와 소프트웨어를 제시하였다. 제시한 방법을 입증하기 위해 하드웨어와 소프트웨어를 구성해 실험을 진행하였으며, 실험 결과 3가지 보호 사항에 대한 동작 결과를 확인하였다.

이러한 보호회로의 디지털화로 인해 매우 복잡하고 많은 수의 소자가 필요로 했던 기존의 아날로그식 보호회로의 소자 수가 크게 감소하면서도, 마이크로컨트롤러의 활용으로 인해 타 기기와의 통신이 가능해 지는 등 더욱 스마트해 질 수 있음을 확인하였다.

이 논문은 국립부경대학교 자율창의
학술연구비(2025년)에 의하여 연구되었음.
This work was supported by a Research
Grant of Pukyong National University(2025)

참 고 문 헌

- [1] John Watkinson, Art of Digital Video 3rd Edition, Focal Press, New York, May 8, 2000. ISBN : 978-0240515861
- [2] Mehmet Özkeleş, Hasan Arapgirlioğlu,

- "Comparison of analog processors and digital signal processors", Journal for the Interdisciplinary Art and Education, pp.15 - 30, Vol.5, No. 1, 2024. DOI : 10.5281/zenodo.10577122
- [3] Ting Yang, Junfeng Hu, Wei Geng, Dan Wang, Yili Fu, Mahdi Tavakoli, "Hybrid Analog/Digital Control of Bilateral Teleoperation Systems", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.140, No.12, Dec. 2018. DOI : 10.1115/1.4040440
- [4] A. E. Marcu, M. Vlădescu, R. A. Dobre, "Cost Effective Remote Control System for Analog Audio Mixers", 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Oct. 2018. DOI : 10.1109/SIITME.2018.8599239
- [5] Jerry Luecke, Analog and digital circuits for electronic control system applications: using the TI MSP430 microcontroller, Elsevier, 2005. ISBN : 0-07506-7810-0
- [6] R.E. Hiorns, R.G. Bowman, M.B. Sandler, "A PWM DAC for digital audio power conversion: from theory to performance", 1991 International Conference on Analogue to Digital and Digital to Analogue Conversion, pp.142-147, Sep. 1991. ISBN : 0-85296-524-9
- [7] Udo Zölzer, DAFX: Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, Ltd, Mar. 2011. ISBN : 9780470665992
- [8] Texas Instruments, "LM1971 Overture Audio Attenuator Series Digitally Controlled 62 dB Audio Attenuator with/Mute," Rev B, 2013. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1971.pdf>
- [9] Dobromir P. Dobrev, Emad Alnasser, Tatyana D. Neycheva, "Analysis of AC Amplifiers with Ultra-low Corner Frequency by Using Bootstrapping", International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, Sep.

2021 DOI : 10.1109/ET52713.2021.9579911

[10] Microchip Technology Inc., tinyAVR Data Sheet - ATtiny13A, 2021. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny13A-Data-Sheet-DS40002307A.pdf>

저 자 소 개



권성열(Sung-Yeol Kwon)

1990.2 수원대 전자재료공학과 학사
 1993.2 경북대 전자재료전공 석사
 2000.2 경북대 센서공학과 박사
 1994.3~1998 안동과학대학
 전자계산과 조교수.
 2000.3~현재 국립 부경대학교 공과대학
 전기공학전공교수.
 <주관심분야> MEMS sensor, 전자재료,
 전기제어계측, 신재생에너지



이현창(Hyun-Chang Lee)

1986.2 단국대 전자공학과 학사
 1989.8 단국대 전자공학과 석사
 1996.2 단국대 전자공학과 박사
 1996.3~2004 국립 천안공업대학
 정보통신과 부교수.
 2005.3~현재 국립 공주대학교 공과대학
 정보통신공학과 교수.
 <주관심분야> 멀티미디어 회로, 모터제어,
 마이크로프로세서, 임베디드 소프트웨어