

# 마이크로컨트롤러를 이용한 IT 기기용 마이너스 전압 생성의 안정화에 관한 연구

이현창

공주대학교 정보통신학부 교수

## A Study on the Stabilization of Generating Negative Voltage for IT Equipments using Microcontroller

Hyun-Chang Lee

Professor, Division of Information & Telecommunication, Kongju National University

**요약** 본 논문에서는 IT기기에 사용되는 마이너스 전압을 생성할 때 이를 기동하는 기능과 과부하를 감지해 이에 대처하는 기능을 마이크로컨트롤러를 이용해 제어하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 기존의 마이너스 전압 생성회로가 가지는 제약점 및 과부하시 발생하는 문제점을 분석하고, 별도의 전류감지 회로 없이 과부하 상태를 검출해 제어하는 방법을 제시하였다. 제시한 방법의 효과를 확인하기 위해 실험회로를 구성하여 실험을 진행한 결과 기존의 마이너스 전압 생성회로에서는 과부하시 래치-업 상태로 돌입해 회로가 위험한 상태로 진입하는 것에 비해 제시한 회로는 이를 감지해 회로의 동작을 차단하고 이러한 이상상태를 사용자에게 알려 조치를 취할 수 있으며, 회로의 기동시점을 시스템 상태에 맞춰 결정하므로 기동시간이 타임스위치 방식에 비해 약 23%정도로 크게 단축되는 실험결과를 확인하였다.

**주제어** : 벡, 인버터, 마이너스 전압, 마이크로컨트롤러, 전압 반전

**Abstract** In this paper, the function of starting the negative voltage used in the IT equipment when it is generated and the method of controlling it using a microcontroller for the function to detect the overload and respond to it are presented. To do this, the limitations of the existing negative voltage generation circuit and the problems that occur during overload were analyzed, and a circuit that detects and controls the overload condition without a separate current sensing circuit was presented. In order to confirm the effect of the proposed method, an experiment was conducted by configuring an experimental circuit. As a result of the experiment, compared to the existing negative voltage generation circuit, which falls into a latch-up state when overloaded and enters a dangerous state, the proposed circuit detects this, stop the operation of the circuit, and informs the user of such an abnormal state to take action. have. In addition, since the starting point of the circuit is determined according to the system state, the experimental result was confirmed that the starting time was significantly shortened by about 23% compared to the time switch method.

**Key Words** : Buck, Inverter, Negative voltage, Microcontroller, Voltage inverter

### 1. 서론

전자기기, IT 기기 등에서 필수적인 전원회로 (Power Supply)는 트랜스포머와 다이오드를 이용한 것으로부터 SMPS(Switching-mode Power Supply)

로 발전되었다.[1,2] 이 중 특히 buck 소자와 같은 전압변환 회로는 단순화 및 고성능의 소자로 개발됨으로 인해[3] IT 기기는 전원회로나 배터리에 의한 전원공급 접속을 단순화하기 위해 기기에서 필요한 최고 전압만을 공급받고 기기의 회로에서 buck 소자를 이용해 내부적

\*This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2020.

\*Corresponding Author : Hyun-Chang Lee(hclee@kongju.ac.kr)

Received April 22, 2021

Accepted June 20, 2021

Revised May 12, 2021

Published June 28, 2021

으로 필요한 전원을 재생성하는 형태를 취하고 있다.

아날로그 신호를 처리하기 위한 IT 기기 구성 회로에서는 디지털-아날로그 변환회로와 연산증폭기 등의 사용이 필수적이지만 마이너스 전압을 필요로 하며 [4,5], 이를 편전원으로 사용하기 위해 커플링 커패시터, 바이패스 커패시터, 바이어스 전압 생성 회로 등을 사용한다. 그러나 이 경우 회로 소자의 증가 및 복잡성 문제와 더불어 직류신호와 저주파 신호 처리에 있어서 성능이 크게 저하한다.[6]

RS-232C 통신회로의 경우 반드시 마이너스 전압이 필요하므로 스위치드 커패시터에 의한 차지-펌프 (Charge Pump) 회로를 이용하지만[7,8], 디지털-아날로그 변환회로나 연산증폭기 등을 구동하기에는 전류가 충분치 않다. 따라서 이러한 필요성에 대응할 수 있도록 buck 소자를 이용해 마이너스 전압을 생성하는 회로가 buck 소자 데이터시트에 게시되어 있지만,[9,10] 실제로 적용하기에는 많은 문제점이 존재한다. Jun[11] 등은 buck 소자 데이터시트에 소개된 마이너스 전원 회로의 문제점 및 원인을 분석하였고, 회로의 초기 기동 시 과전류 보호회로를 이용하고, 이로 인해 소자의 수명 단축과 래치-업 현상이 발생할 수 있음을 분석하였다. Lee[12] 는 과전류 보호회로의 동작에 의존하지 않는 타임스위치에 의한 buck 소자 inverter 회로의 기동방법을 제시하였으며, 이는 과전류에 의한 buck 소자의 수명 단축과 래치-업 현상의 위험성 문제는 해결되지만, 기동 시간이 시스템 상태와 관계없이 고정적이며 과부하 상황에서는 심각한 문제점이 존재하는 문제점이 존재한다.

본 논문에서는 이상에서 논한 타임스위치 회로에 의한 buck 소자 inverter 회로의 문제점을 분석하고 이를 보완하기 위해 마이크로컨트롤러에 의한 기동방법을 제시해 기동시간은 시스템 상태를 추종하며 단축되고 과부하 상태를 검출해 회로가 래치-업 상태로 진입하지 않는 마이너스 전원회로를 구성하고자 한다.

## 2. Buck 소자 inverter 회로의 문제점

### 2.1 과전류 보호회로에 의한 기동

그림 1은 buck 소자 데이터시트에 소개된 인버터 회로의 예로서, buck회로에서 발생하는 출력을 접지로 접속해 본래의 0V가 마이너스 전압으로 출력되는 원리이다.

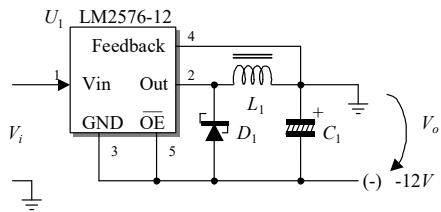


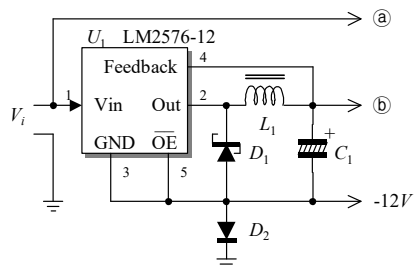
Fig. 1. Principle of inverter using buck device

이 회로가 정상상태일 때는 제어소자  $U_1$ 의 PWM 신호가 off될 때 마다  $L_1$ 의 전류가  $D_1$ 을 경유해 흐르므로  $D_1$ 의 애노드 단에는 지속적으로 마이너스 전압이 발생한다. 그러나 초기에 전원이 투입될 때  $U_1$  소자의 2번 출력은  $L_1, C_1$  필터를 경유해 출력이 접지에 접속되어 있으므로 4번 핀을 통한 귀환신호는 0V이며,  $C_1$ 의 (-) 측 또한 0V이므로 제어소자  $U_1$ 은 최대 듀티 비 100%인 DC 신호를 출력한다. 그러나 귀환신호는 여전히 0V이므로 회로는 과전류 상태에 돌입하고,  $U_1$  소자 내부에서는 소자를 보호하기 위해 전류를 차단하며, 이때 비로소  $L_1$ 에 흐르던 전류가  $D_1$ 을 통해 방전되어  $C_1$ 에 마이너스 전압이 충전되고 이 과정을 수차례 반복하여 정상상태로 진입한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 이 회로는 전원공급 초기에 과전류에 의해 기동되므로 소자의 수명이 급격히 짧아지고, 공급전력이 과전류 보호회로의 동작상태에 미치지 못하는 경우 래치-업 현상이 발생해 회로가 매우 위험해진다[11].

### 2.2 타임스위치 회로에 의한 기동

과전류 보호회로에 의한 회로기동의 여러 문제점과 위험요소를 개선하기 위해 Lee[12]는 그림 2에 나타난 간단한 회로를 이용해 과전류 현상 없이 안정적으로 회로를 기동하는 방법을 제시하였다.



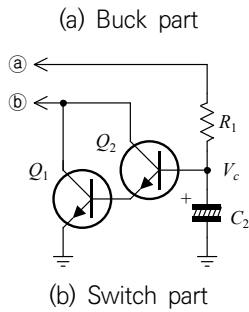


Fig. 2. Schematic of time-switch starting

그림 2의 회로에서, 전원이 투입된 직후에는 그림 2(b)의  $R_1$ ,  $C_2$ 에 의해 스위칭 트랜지스터  $Q_1$ ,  $Q_2$ 가 동작하지 않으므로 그림 2(a)의 회로는 정상적인 buck 회로로서 동작해  $C_1$ 의 (+)측에 (+)전압이 출력되며, 이때 제어소자  $U_1$ 의 GND는  $D_2$ 를 경유해 접지된다.  $R_1$ ,  $C_2$ 에 의해 정해진 시간 후 스위칭 트랜지스터  $Q_1$ ,  $Q_2$ 가 동작하면 그림 2(a)의 출력 ㉑점이 접지로 접속되므로  $C_1$ 의 (-)점은 마이너스 전압으로 변화되며, 이 때 어떠한 과전류나 전류변화는 발생하지 않는다.

### 2.3. 회로의 문제점

그림 2의 기동회로는 정상동작 시 문제가 발생하지 않으나, 이 전력을 사용하는 부하 측에서 어떤 이상이 발생해 과전류가 400ms 이상 지속되면, 과전류 상황이 종료되더라도 그림 3에 나타난 과정에 의해 회로 스스로 래치-업 상태에 돌입해 위험 상태로 진입할 수 있다. 즉, (-) 출력에 접속된 부하에 어떤 문제가 발생해 과전류가 흐르면, 출력전압은 상승하고, 이를 보충하기 위해 제어소자  $U_1$ 은 PWM 펄스폭을 늘리는데, 전압 상승 폭이 크다면 PWM 펄스폭은 최대인 직류가 되며, 이 경우 더 이상  $D_1$ 을 통해 마이너스 전압이 충전되지 않으므로 초기 기동 시와 동일한 상태가 되며, 공급전원에 제한이 있는 경우 래치-업 상태를 유지한다.

또 다른 문제점은 회로에 사용되는 필터소자  $L_1$ 과  $C_1$ 의 용량이 온도 등 주변 요인에 의해 변화하므로 기동 시 안정된 전압까지 충분히 상승할 수 있도록 시정수  $R_1$ 과  $C_2$ 를 크게 설정해야 하며, 따라서 초기 기동 시간이 길어질 수밖에 없다.

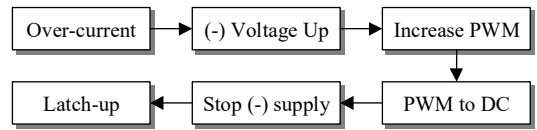


Fig. 3. Latch-up process at over-current

그림 4에 타임스위치에 의한 회로의 출력에 과부하를 인가한 경우의 출력전압과 유입전류를 측정된 결과를 나타내었다.

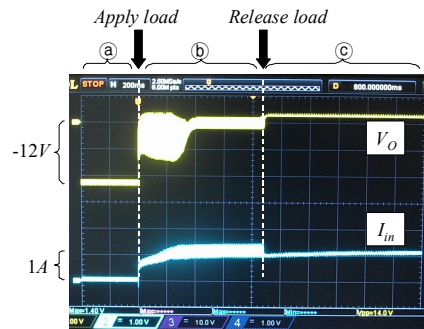


Fig. 4. Latch-up phenomenon at over-current

이는 -12V 출력과 접지 사이에 33Ω 저항을 약 1초간 접속한 것으로서, 이 때의 전류는 364mA이며 데이터시트에 의하면 정격전류는 350mA이다. 그림 4의 ㉑ 구간에서 부하가 인가된 후 약 400ms 이내에 PWM이 DC로 변화하고, 이후 부하를 제거한 ㉒ 구간에서도 여전히 출력전압은 나타나지 않으면서 매우 큰 전류만 흐르는 래치-업 상태에 도달함을 관찰할 수 있다.

## 3. 마이크로프로세서에 의한 기동 관리

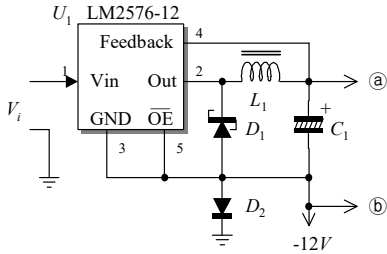
### 3.1 기동회로의 원리

이상에서 고찰한 타임스위치 회로에서 발생하는 문제점의 해결을 위해 그림 5에 나타난 마이크로컨트롤러(또는 마이크로프로세서)를 이용한 기동회로를 제시하였다.

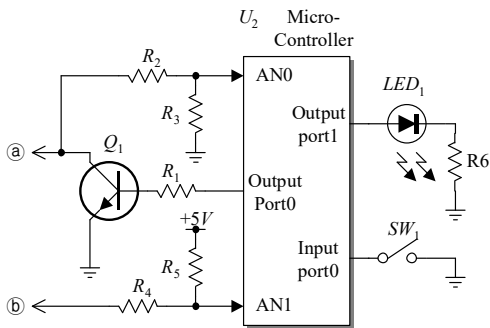
#### 3.1.1 기동시간의 단축

초기에 회로에 전원이 인가되어 buck 제어 소자의 출력이 정상상태에 이르는 전압인 그림 5(b)의 ㉑점을 마이크로컨트롤러의 AN0를 통해 지속적으로 감지해 정해진 전압에 도달하면 트랜지스터 스위치  $Q_1$ 을 가동시킨다. 이와 같은 구성에 의해 그림 5(a)의 필터회로 소자  $L_1$ ,  $C_1$ 의 용량을 변경하더라도 본 회로는 이에 맞

는 타이밍에 트랜지스터 스위치를 전환해 회로를 기동할 수 있다.



(a) Buck part



(b) Microcontroller part

Fig. 5. Schematic of improved circuit

### 3.1.2 과전류 래치-업 방지

마이너스 전압에 과전류가 흐르면 전압이 점차 상승하므로 이를 그림 5(b)의 ⑥점과 마이크로컨트롤러의 AN1을 통해 감지하며, 만약 전압이 특정 이상 상승하는 경우 트랜지스터 스위치  $Q_1$ 을 off시켜 회로의 동작을 중지시키고  $LED_1$ 이나 버저와 같은 경고 장치를 이용해 사용자에게 이를 알린다.

## 3.2 설계 과정

### 3.2.1 안정전압 감지회로

그림 6은 기동용 트랜지스터  $Q_1$ 을 동작하기 위한 타이밍을 결정하는 회로로서, 분압회로를 형성해 마이크로컨트롤러가 처리할 수 있는 전압으로 변환한다.

그림 5(a)의  $U_1$  출력을  $V_s$ 라 하면 AN0에 마이크로컨트롤러 최대전압인 +5V가 인가되어야 하므로 식 (1)과 같은 관계가 성립하며, 따라서  $R_2$ 와  $R_3$  사이에는 식 (2)의 관계식을 구할 수 있다.

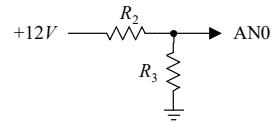


Fig. 6. Voltage conversion circuit for starting

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_s \leq 5 \quad (1)$$

$$R_3 \leq \left( \frac{5}{V_s - 5} \right) \cdot R_2 \quad (2)$$

### 3.2.2 출력전압 감지회로

과전류에 의한 출력전압의 상승을 감지하기 위한 회로는 그림 7과 같이 구성할 수 있다. 즉 정상적인 마이너스 전압이 출력되면 AN1에 거의 0V에 근접한 전압이 생성되고, 마이너스 전압이 상승하면 AN1의 전압이 상승하므로 이를 마이크로컨트롤러에서 감지한다.

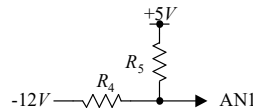


Fig. 7. Voltage conversion circuit for detecting over-current

정격 마이너스 전압이  $-V_o$ 이고, 이 때 AN1에 0V가 감지되려면 식 (3)과 같은 관계가 성립하며, 따라서 식 (3)으로부터 식 (4)와 같이 저항비를 얻을 수 있다.

$$\frac{R_4}{R_5 + R_4} \cdot (5 + V_o) - V_o \geq 0 \quad (3)$$

$$R_4 \geq \frac{V_o}{5} \cdot R_5 \quad (4)$$

### 3.2.3 제어 플로차트 예

그림 8에 그림 5 회로를 제어하는 플로차트의 예를 나타내었다. 이 예에서는 과전류 상태가 검출되었을 때 제어 트랜지스터를 차단하고 일정시간 대기 후 다시 기동을 시도하며, 이러한 과정을 2회 반복했음에도 여전히 과전류 상태이면 오류를 보고하고 동작을 중단하도록 구성하였다.

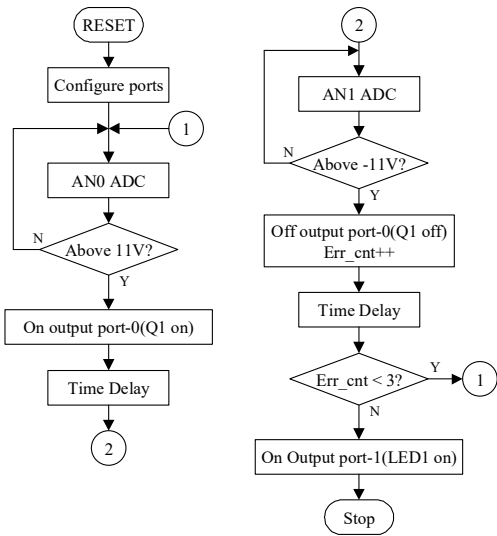


Fig. 8. Example of control flow-chart

#### 4. 실험 및 결과

식 (2)로부터  $R_2 = 10K$ ,  $R_3 = 6.8K$ , 식 (4)로부터  $R_4 = 33K$ ,  $R_5 = 10K$ 의 회로정수를 구해 그림 4의 회로를 그림 9와 같이 구성하고 AVR 마이크로컨트롤러를 이용해 그림 7의 소프트웨어를 구현해 실험을 진행하였다. 이 때 실험을 위해 회로의 공급전원  $V$ 는 1A로 제한하였고, 회로에 입력되는 전류는 shunt-R를 경유해 이를 연산증폭기로 증폭해 측정하였다.

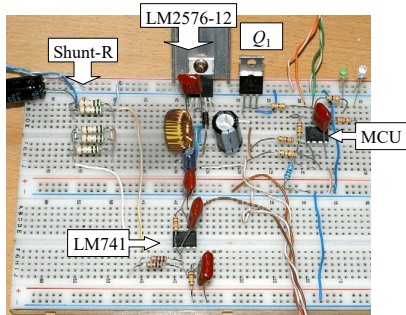


Fig. 9. Experimental circuit

##### 4.1 기동시간의 단축

그림 10은 회로를 기동했을 때의 동작파형을 나타낸 것으로서,  $U_1$ 의 출력전압( $C_1(+)$ )이 약 12V에 도달하는 즉시 스위치 되어 전원 투입 후 약 280ms만에 마이너스 전압 출력이 나타나며, 타임스위치의 고정된 기동시간 1.2s에 비해 23%의 시간에 기동됨을 알 수 있다.

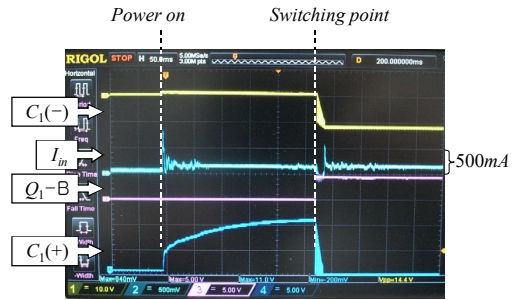
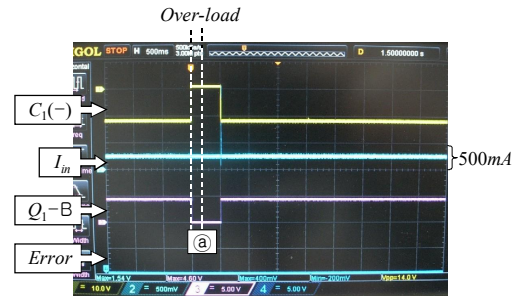


Fig. 10. Starting waveform

##### 4.2 과전류 보호

그림 11(a)는 그림 4와 동일한 부하를 이용해 약 250ms의 순간적인 과부하를 인가했을 때의 동작파형을 나타낸 것으로서, 마이크로컨트롤러가 과부하를 검출해  $Q_1$ 의 베이스 전압을 차단하고(@구간) 500ms 후 다시 시도해 정상으로 진행되며, 따라서 그림 4에서와 같은 래치-업 상태로 돌입하지 않는다.



(a) Waveform at momentary over-load



(b) Waveform at continuous over-load

Fig. 11. Waveform of experimental circuit

그림 11(b)는 연속적인 과부하일 때의 동작파형을 나타낸 것으로서, 구간 ①에서 마이크로컨트롤러는 2회의 재시도 후 오류 신호를 출력하고 회로의 동작을 중단한다. 단, 그림 11(b)는 사진 촬영을 위해 재시도 후

약 500mS의 시간지연을 일으킨 것으로서 이 사이 약 800mA 이상의 전류가 유입됨을 확인할 수 있다.

이상의 실험결과에 따라 기존의 불안정했던 마이너스 전압 생성회로가 시스템 상태에 따른 최단시간에 기동이 가능하고, 특히 과부하 상태에서 회로 스스로 래치-업 상태로 진입하는 문제점이 해결되는 안정성이 확보되었음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 저렴한 buck 소자에 의해 최단 시간에 마이너스 전압을 생성하고 과부하에 대한 관리를 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 제어방법을 제시하였다. 이를 위해 과전류 현상 없이 회로를 기동할 수 있는 장점이 있는 타임스위치 기동방식에서, 400mS 정도의 과부하 상태라 할지라도 회로 스스로 래치-업 상태에 돌입하는 문제점이 있음을 분석하였다. 또한 고정된 시간 후 기동함으로 인해 기동 시간이 오래 걸리고 시스템 시정수의 변화에 대해서는 새로운 설계를 진행해야 하는 문제점을 분석하였다.

제시한 회로의 효과를 입증하기 위해 회로를 구성하고 실험을 진행하였으며, buck 소자의 출력상태를 확인해 이에 따른 기동 동작을 진행하므로 시스템 시정수를 추종하면서 스위칭이 진행되며, 실험에 따르면 타임스위치 방식에 비해 약 23% 짧은 시간에 기동하는 결과를 확인하였다. 또한 마이너스 전압을 검출함으로써 별도의 전류검출 소자 없이 과부하 상태를 검출해 회로가 래치-업 상태에 돌입하는 것을 방지하며, 필요에 따라 재 기동을 시도하고 수차례의 재 기동에도 불구하고 과부하 상태가 유지될 경우 회로를 안전하게 정지시키고 사용자에게 이 상황을 알릴 수 있음을 실험적으로 보였다. 특히 마이크로컨트롤러가 사용되는 IT 기기에서는 3개 포트의 추가만으로 구현이 가능함에 따라 큰 비용의 추가 없이 저렴한 buck소자를 이용한 마이너스 전압 생성회로를 안정화시킬 수 있는 특징을 지닌다.

## REFERENCES

- [1] W. Ernest. (1979). Booster-inverter power supply circuit. *US patent US4245285A*.
- [2] K. Hosokawa, R. Kudo, T. Nagasawa & K. Tateno. (2004). Switching power supply device and a semiconductor integrated circuit. *US patent US7514908B2*.
- [3] X. Li, Z. Yan, Y. Gao & H. Qi. (2013). The Research of Three-phase Boost/Buck-boost DC-AC Inverter, *Scientific Research*, 5(04), 906-913. DOI : 10.4236/epe.2013.54B174
- [4] Y. P. Tsvividis & P. R. Gray. (1976). An integrated NMOS operational amplifier with internal compensation. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 11(6), 748-753. DOI : 10.1109/JSSC.1976.1050813
- [5] S. Luschas, R. Schreier & H. S. Lee. (2004). Radio frequency digital-to-analog converter, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 39(9), 1462-1467. DOI : 10.1109/JSSC.2004.829377
- [6] S. Saggini, E. Orietti, P. Mattavelli, A. Pizzutelli & A. Bianco. (2008). Fully-digital hysteretic voltage-mode control for dc-dc converters based on asynchronous sampling, *2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition* (pp. 503-509). *IEEE*. DOI : 10.1109/APEC.2008.4522768
- [7] W. Kester, B. Erisman & G. Thandi. *Switched capacitor Voltage converters*, 4.1-4.21(Online). <http://analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Practical-Design-Techniques-Power-Thermal/Section4.pdf>
- [8] Texas Instruments. (2014). *MAX232x Dual ELA-232 Drivers/Receivers* (Online). <http://ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>
- [9] Texas Instruments. (2005). *TL497A - 500mA Peak Step-up, Step-down, Inverting Switching voltage regulator* (Online). <http://ti.com/lit/ds/symlink/tl497a.pdf>
- [10] Texas Instruments. (2020). *LM2576xx Series Simple Switcher 3-A Step-Down Voltage Regulator* (Online). <http://ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>
- [11] H. I. Jun & H. C. Lee. (2020). Analysis of Problems when Generating Negative Power for IT devices. *Journal of Software Assessment and Valuation*, 16(2), 109-115. DOI : 10.29056/jsav.2020.12.12
- [12] H. C. Lee. (2021). A Study on the Generation of Stable Negative Voltage for IT Equipments, *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(3), 14-19. DOI : 10.22156/CS4SMB.2021.11.03.014

이 현 창(Hyun-Chang Lee)

[정회원]



- 1986년 2월 : 단국대학교 전자공학(공학사)
- 1989년 8월 : 단국대학교 전자공학(공학석사)
- 1996년 2월 : 단국대학교 전자공학(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 2004년 2월 : 천안

공업대학 정보통신공학과 부교수

- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 정보통신공학부 교수
- 관심분야 : 멀티미디어 회로, 전동기 제어, 마이크로프로세서, 임베디드 소프트웨어
- E-Mail : hcleee@kongju.ac.kr