

논문 2020-2-12 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2020.12.12>

# IT 기기의 마이너스 전원 생성 시 문제점에 관한 분석

전호익\*, 이현창\*\*†

## Analysis of Problems when Generating Negative Power for IT devices

Ho-Ik Jun\*, Hyun-Chang Lee\*\*†

### 요 약

본 논문에서는 어댑터나 배터리에 의해 단일전원을 공급받는 IT기기에서, 저렴한 buck 소자를 이용해 마이너스 전압을 발생할 때 발생하는 문제점을 분석하였다. 원인 분석을 위해 buck 소자의 동작원리와 inverter 회로의 원리를 살펴보고, buck 소자를 이용해 inverter 회로를 구성했을 때의 회로적 특성을 분석하였다. 분석 결과 buck 소자를 이용한 inverter회로는 초기에 큰 기동전류가 필요함을 확인하였으며, 특히 전원을 공급하는 회로에서 기동전류에 미치지 못하는 전류용량일 경우 래치 업 현상과 유사한 상태에 빠질 수 있음을 확인하였다. 분석결과를 확인하기위해 실험회로를 구성하고 입력전류를 확인한 결과, 공급전류가 충분한 경우 과전류가 흐르면서 기동됨을 확인하고, 공급전류가 충분치 않은 경우에는 회로가 기동하지 못해 래치 업 현상이 발생해 회로 전체가 위험상태에 도달함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, the problem that occurs when negative voltage is generated using an inexpensive buck device in an IT device that is supplied with a single power by an adapter or battery is analyzed. For the cause analysis, the principle of operation of the buck device and the principle of the inverter circuit were examined, and the circuit characteristics of the inverter circuit were analyzed using the buck device. As a result of the analysis, it was confirmed that the inverter circuit using the buck device initially needs a large starting current, and in particular, in the case of a current capacity that is less than the starting current in the circuit that supplies power, it was confirmed that it could fall into a state similar to the latch-up phenomenon. In order to confirm the analysis result, an experimental circuit was constructed and the input current was checked. If the supply current is sufficient, it is confirmed that over-current flows and starts. If the supply current is insufficient, the circuit cannot start and a latch-up phenomenon occurs.

**한글키워드 :** 전원회로, 마이너스 전압, 스위칭 전원, 전압 강하형

**keywords :** Power Supply, Minus Voltage, Negative power, Switching Power, Buck converter

\* 혜전대학교 전기과

\*\* 공주대학교 정보통신공학부

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

접수일자: 2020.11.30. 심사완료: 2020.12.07.

게재확정: 2020.12.21.

## 1. 서 론

전원회로는 모든 전자기기의 필수요소로서, 기기의 동작을 위해 전원회로가 반드시 필요하며,

예를 들어 스마트-폰의 경우 충전기가 필요하고, 컴퓨터는 내부에 전원장치가 내장되며, 모니터의 경우에도 별도의 어댑터를 사용하는 등 기기 1대 당 최소 1개 이상의 전원회로가 사용된다.

IT 기기는 구성의 단순화를 위해 기기 내부에서 필요로 하는 각종 전압 중 최고 전압을 어댑터 형식의 단일전원이나 배터리 등으로부터 공급받고 회로에서 필요로 하는 전압으로 낮추어 재 생성하는 방법으로 구성된다. 예를 들어 컴퓨터용 LCD 모니터의 경우 패널의 구동을 위해 +3.3V가 필요하고 제어회로의 가동을 위해 +5V가 필요하며, 백라이트 구동을 위해 +12V가 필요하다. 이러한 3종류의 전원을 모두 공급하는 것은 회로와 배선이 매우 복잡해지므로 기기 외부에서 +12V의 어댑터를 이용해 전원을 공급받고, 모니터 내부에서는 buck 회로 등을 이용해 +5V와 +3.3V를 생성하는 방법으로 구성된다. 이와 같이 IT 기기를 비롯해 다양한 분야에서 buck 소자가 많이 사용됨으로 인해 소자의 성능과 가격이 크게 개선되었으며, 저가격의 이점으로 인해 사용영역이 더욱 증가하고 있다[1].

한편 아날로그 신호를 취급하는 회로는 연산 증폭기나 디지털-아날로그 변환기 등이 필수적인데, 이들 회로는 마이너스 전압을 필요로 한다. 그러나 마이너스 전원을 생성하는 회로는 트랜스포머 등으로 인해 부피가 커지고 가격이 비싸므로 연산 증폭기 등을 편전원회로로 구성해 사용하는데, 편전원 회로를 위한 부가적인 소자가 많이 소요되고, 특히 커패시터에 의한 주파수 특성의 열화문제가 발생한다. 만약 마이너스 전원이 공급된다면 편전원회로를 구성하는 상당량의 소자들이 모두 생략되면서도 회로의 성능과 신뢰성이 크게 향상될 수 있다.

마이너스 전압을 생성하기 위해 다양한 회로가 적용되고 있는데, 스위치드 커패시터를 이용한 차지-펌프 회로의 경우 안정적으로 마이너스

전원을 생성할 수 있는 유용한 수단이므로[2] MAX232 시리즈 소자[3]는 회로 외부에서 단일 전원을 공급받아 +10V와 -10V의 전압을 자체 생성해 사용하므로 전원회로가 매우 간단해져 PC를 비롯해 RS-232C를 적용하는 대부분의 회로에 사용되고 있으나, 연산 증폭기를 가동시킬 만큼 큰 전류는 생성하기 어려운 제약점이 있다. 이에 따라 TL497, LM2576 등과 같은 저렴한 buck 소자들에서는 이 소자를 이용해 마이너스 전압을 생성하는 회로를 데이터시트에 소개하고 있으며[4,5], 이 회로들은 이론적으로 우수한 성능을 나타낼 수 있으나 실제 적용 시 회로가 래치-업과 유사한 현상이 발생하거나, 설령 동작하더라도 소자의 수명이 크게 단축되는 문제점이 존재한다.

본 논문에서는 저렴한 buck 소자를 이용해 마이너스 전원을 생성할 때 발생하는 문제점의 원인을 분석함으로써 이를 개선하기 위한 기술적 초석이 되고자 한다. 이러한 문제점이 해결될 경우 IT 기기 내에서 대용량의 마이너스 전원을 저렴한 buck 소자를 이용해 구성할 수 있어 회로의 단순화와 성능향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. Buck 소자의 구성과 원리

비절연 스위칭 전원회로에는 3가지 형식이 있는데, 입력되는 전압보다 더 낮은 전압을 생성하는 Buck(정식 명칭은 Step-Down), 더 높은 전압을 생성하는 Booster(Step-Up), 그리고 마이너스 전압을 생성하는 Inverter가 있다[1].

### 2.1 Buck 소자를 이용한 inverter 회로

Buck용 소자를 변형하면 inverter 회로로 활용

이 가능하며, 그림 1은 LM2576 소자의 데이터 시트에 소개된 inverter회로의 원리이다[5].

그림 1(a)는 LM2576 소자 본연의 역할인 buck 회로로서, 여기서는 +12V를 생성하는 예를 나타내었다. 출력점 Vo를 살펴보면 접지인 (-)점을 기준으로 (+)점이 +12V이므로 (+)점을 기준으로 (-)점은 -12V로 볼 수 있으며 이 원리를 적용해 그림 1(b)와 같이 구성한다.

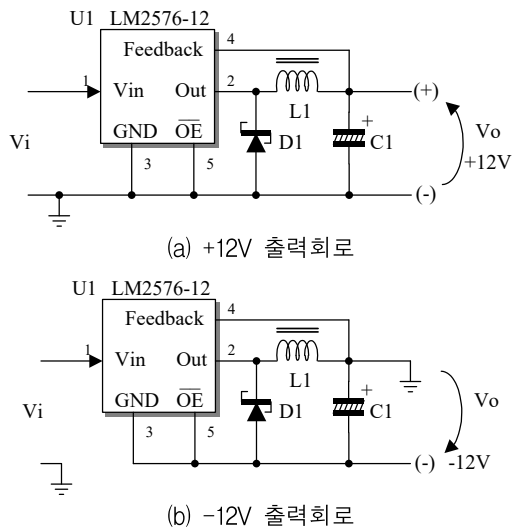


그림 1. Buck 소자를 이용한 inverter의 구성원리  
Fig. 1. Principle of inverter using buck device

즉 그림 1(b)의 회로에서, LM2576-12 소자는 자신의 임무인 3번 핀 GND로부터 4번 핀 감지 라인 사이가 항상 +12V가 되도록 유지하며, 이때 회로의 사용자는 4번 핀 부분을 접지에 접속하면 소자의 접지점인 3번 핀 부분을 -12V로서 활용할 수 있다.

## 2.2. Buck 소자의 제어원리

Buck 소자를 이용해 inverter 회로를 구성한 경우 발생하는 문제점을 분석하기 위해 그림 2에 buck 제어소자의 개략도를 나타내었으며, 대부분

의 buck 제어소자는 이와 유사한 원리를 적용해 구성한다[4,5]. 그림 2의 각 요소회로의 출력파형을 그림 3에 나타내었다.

그림 2에서, 기준전압 U103의 출력 Vref와 외부 전압 Vf는 U102 차동증폭기에서 식 (1)과 같은 차전압 Vpwm를 출력한다. 여기서, a는 기본 출력용 바이어스 전압이다.

$$V_{pwm} = V_{ref} - V_f + a \quad (1)$$

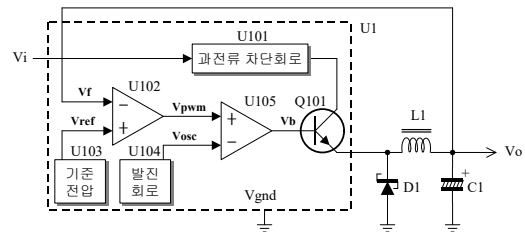


그림 2. Buck 소자의 원리  
Fig. 2. Principle of buck device

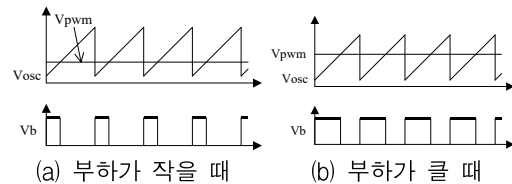


그림 3. 각 부분의 출력파형 예  
Fig. 3. Example of output waveform of each part

즉 기준전압에 비해 외부전압이 낮을수록 Vpwm은 더 큰 값을 가지고, 두 전압이 동일할 경우에는 a만 남아 기본적인 PWM 파형을 출력한다. Vpwm은 U104에서 생성되는 톱니파 발생기와 비교되어 그림 3(a)의 Vb와 같은 출력이 생성되는데, 이 때 회로의 부하가 커 출력전압이 낮아질수록 그림 3(b)와 같이 Vb의 H 기간이 커지는 PWM 파형이 생성되고, Vb는 트랜지스터 Q101에 인가되어 외부로 출력된다.

### 3. 문제점의 분석

#### 3.1 Inverter의 기동과정

그림 1(b)의 Buck 소자를 이용한 inverter 회로에 전기가 투입된 직후의 상태를 그림 4(a)에 나타내었다. 입력전압  $V_i$ 는 인가되었지만 커패시터 C1의 상측은 이미 접지에 접속되어 있으므로 0V이고, C1의 하측은 아직 회로가 동작하지 않으므로 충전된 전압이 없어 0V이며, 따라서 U1 소자의  $V_{gnd}$ 도 0V이다. U1 소자의 감지전압  $V_f$ 가 0V이므로  $V_{pwm}$  출력은 식 (1)에 의해 그림 4(b)와 같이 가장 크게 제어된다. 이 경우 그림 4(b)의  $V_b$  출력과 같이 트랜지스터 Q101을 계속 on상태로 유지해 L1을 통해 큰 전류를 흘려 출력전압을 높이려 하지만, C1의 상측이 접지에 접속되어 있으므로  $V_f$ 는 결코 상승하지 않고, 따라서 U1 소자의 출력은 계속적으로 on 상태를 유지한다.

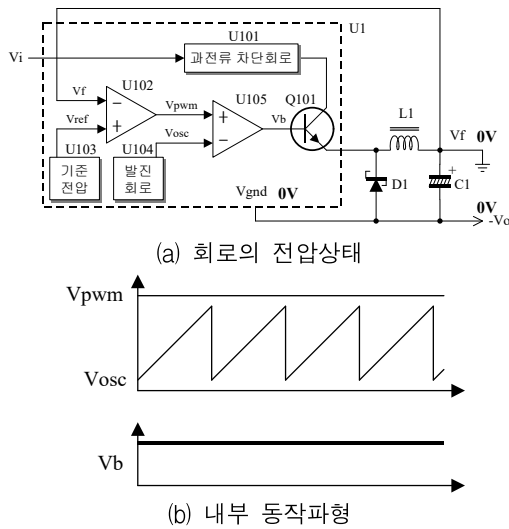


그림 4. 회로의 초기상태  
Fig. 4. Initial state of the circuit

Q101 트랜지스터에 과도한 전류가 흘러 과전류 차단회로 U101이 동작해 전류가 정지하면 그때 L1에 충전된 전류가 D1을 경유해 유출되므로 C1의 하측에 (-) 전압이 생성되며, 이는 소자의  $V_{gnd}$  단자도 (-) 전압으로 된 것이므로 상대적으로 귀환되는  $V_f$ 가 상승한 것으로 감지되어 소자가 정상적인 PWM 출력이 발생해 지속적으로 (-)전압이 생성된다. 결론적으로, 단 한번이라도 트랜지스터 Q101이 off되어야만 커패시터 C1의 하측에 (-)전압이 생성되어 소자가 정상상태로 진입해 연속적인 출력이 발생한다.

#### 3.2. 과전류 기동에 의한 수명 단축

Buck 회로를 이용한 inverter 회로의 동작원리에 의하면 소자가 초기에는 매우 큰 과전류가 흐르고, 과전류 차단회로가 이를 차단함으로써 기동이 이루어진다. 그러나 과전류 차단회로가 동작한다는 것은 소자에 지나치게 많은 전류가 흘러 위험한 상황이라는 뜻이며, 소자가 파손될 상황에 이르렀다는 의미이다. LM2576 소자의 경우 정격전류가 3A이고, 과전류 차단은 5A에서 동작하므로[5] 정격전류를 훨씬 넘어서는 위험한 상황이 발생해 과전류 차단회로가 동작하는 것이다. 따라서 이러한 방법으로 회로를 기동하면, 전원을 투입할 때마다 소자가 위험한 상황으로 진입한다는 뜻이며, 따라서 실제로 이 회로를 적용해 사용하는 경우 소자 수명의 10분의 1도 안되어 소자가 파손된다.

#### 3.3. 래치-업 현상의 발생과정 분석

특히 기동 시 과전류 문제점은 그림 5와 같이 타 전원회로부터 전력을 공급받을 때 더욱 심각하게 발생한다.

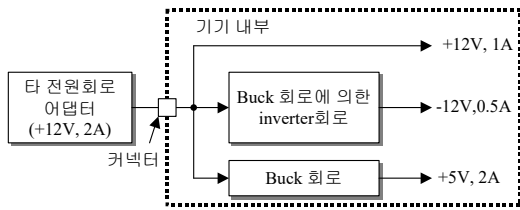


그림 5. 타 회로로부터 전력을 공급받는 경우  
Fig. 5. When receiving power from other circuits

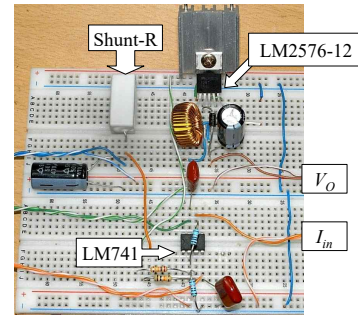
그림의 예와 같이 기기 내에서 필요로 하는 전원이 +12V는 1A이고, -12V는 0.5A, +5V는 2A인 경우 이들의 전체 전력은 23W이며, 따라서 외부의 어댑터는 +12V, 2A로서 충분하다. 이 상황에서 inverter 회로에 LM2576 buck 소자를 사용할 경우 5A의 과전류가 흘러야 차단이 발생하지만 입력되는 어댑터는 2A 이상의 전류가 흐르면 어댑터 자체의 보호회로에 의해 출력전압을 제한하며, 따라서 inverter 회로에 사용된 buck회로는 차단되지 않고 어댑터로부터의 모든 전류를 흘려 보내는 상태가 지속된다.

#### 4. 실험 및 고찰

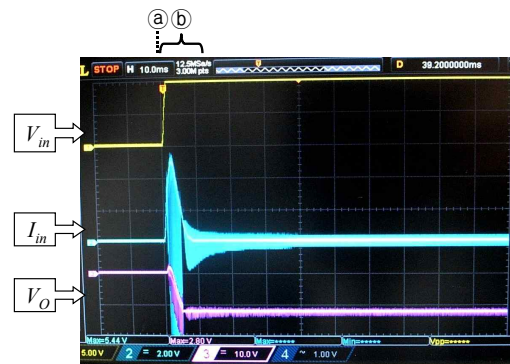
이상의 과정에서 분석된 결과를 확인하기 위해 그림 6(a)와 같은 회로를 구성하고, 회로에 유입되는 전류를 확인하기 위해 0.1Ω의 shunt-R를 경유해 전원을 공급하였다. Shunt-R 양단에 발생하는 전압을 추출하기 위해 LM741 연산증폭기를 차동증폭기로 구성해 10배 증폭하였으며, 따라서 1A당 1V의 전압으로 변환해 전류를 관찰할 수 있도록 구성하였다[6].

그림 6(b)의 관찰 결과에 의하면 ①점에서 전원을 투입하면 ②점 구간에서 회로의 초기 기동시 5A 이상의 매우 큰 전류흐름이 확인되며, 이로 인해 전원이 차단되면 그 이후부터 정상적인 마이너스 전압  $V_O$ 가 생성됨을 알 수 있다.

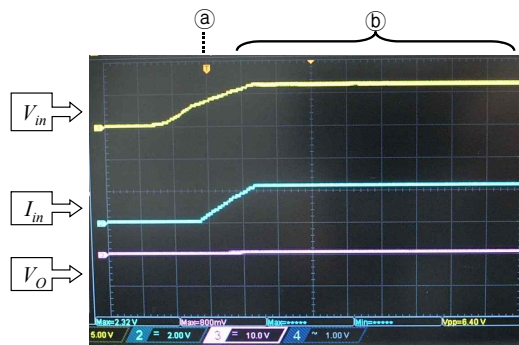
회로에 공급되는 전원을 약 2A로 제한했을 때의 전류 파형을 그림 6(c)에 나타내었다.



(a) 실험 회로



(b) 공급전원을 6A로 설정한 경우



(c) 공급 전원을 2A로 제한한 경우

그림 6. 실험회로 및 측정결과

Fig. 6. Experiment circuit and measurement result

입력전압  $V_{in}$ 이 투입된 후 ①점에서 LM2576 소자가 가동되어 큰 전류가 유입되기 시작하나

이 전류를 전원 공급장치에서 제한하므로 ⑤ 구간 중에 LM2576은 과전류 차단회로가 동작하지 않아 계속 전류만 흐르고, 이에 따라 전원공급장치에서는 계속 차단상태에 머물러 있음을 확인할 수 있다. 이 상태가 수 초 이상 지속된 이후 LM2576 소자는 위험한 수준으로 큰 열이 발생함을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 저렴한 buck소자를 이용해 inverter를 구성해 사용할 때 발생하는 문제점에 대해 분석하였다. 분석한 결과에 따르면 inverter 회로의 초기 기동전류가 소자의 사용범위를 넘어 보호회로가 차단상태에 이르러야 회로가 기동할 수 있으며, 이에 따라 기기가 빈번히 기동하면 그만큼 수명이 급격히 단축되는 결과로 이어짐을 확인하였다. 특히 IT기기의 구성 특성상 어댑터 형태의 외부 전원에서부터 전력을 공급받는 경우 공급 전류가 기동전류에 못 미치는 경우 기동이 되지 않아 래치-업 현상이 발생해 기기가 위험상태에 빠지는 원인 또한 규명하였다. 이에 따라 과전류 차단에 의존하지 않는 방법으로 회로를 기동해야 할 것으로 분석되었다.

Buck 소자를 이용한 inverter 회로에서의 문제점이 해결될 경우 저렴한 buck 소자를 이용해 고비용의 inverter 회로를 대체할 수 있으므로 인해 마이너스 전원의 생성이 저렴해지고, 안정된 마

이너스 전원이 공급 가능하므로 연산증폭기 같은 소자들을 편전원으로 구성하기 위한 대량의 소자들이 생략되는 효과는 물론 회로의 성능 또한 크게 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Xiangli Li, Zhaoyang Yan, Yanni Gao, Hanhong Qi, The Research of Three-phase Boost/Buck-boost DC-AC Inverter, Scientific Research, pp.906-913, May 2013. DOI : <https://doi.org/10.4236/epe.2013.54B174>
- [2] Walt Kester, Brian Erisman, Gurjit Thandi, Switched capacitor Voltage converters, pp.4.1-4.21, <http://analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Practical-Design-Techniques-Power-Thermal/Section4.pdf>
- [3] Texas Instruments, MAX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers, Nov. 2014. <http://ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>
- [4] Texas Instruments, TL497A - 500mA Peak Step-up, Step-down, Inverting Switching voltage regulator, Feb. 2005. <http://ti.com/lit/ds/symlink/tl497a.pdf>
- [5] Texas Instruments, LM2576xx Series Simple Switcher 3-A Step-Down Voltage Regulator, June 2020. <http://ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>
- [6] Texas Instruments, LM741 Operational Amplifier, Oct. 2015. <http://ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>

저 자 소 개



전호익(Ho-ik Jun)

1984.2 단국대 전자공학과 학사  
1986.8 단국대 전자공학과 석사  
1997.8 단국대 전자공학과 박사  
1992.10 - 현재 혜전대학교 전기과 부교수  
<주관심분야> 멀티미디어 회로, 전동기제어, 마이크로프로세서



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  
정보통신공학부 교수  
<주관심분야> 멀티미디어 회로, 전동기제어, 마이크로프로세서, 임베디드소프트웨어