

# 출력 캐패시터 전압을 이용한 출력 전류 센서리스 출력 전류 피드 포워드

최규식, 김혜진, 조보형  
서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

## Output Current Feed-Forward using Output Capacitor Voltage without Output Current Sensor

Kyusik Choi, Hyejin Kim, and Bohyung Cho  
School of Electrical Engineering, Seoul National Univ.

### Abstract

동일한 패시브 소자를 사용한 조건에서 부하 변동에 대한 출력 전압 레귤레이션을 향상시키기 위해서 출력 전류의 피드포워드 기법이 많이 이용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 출력 전류를 센싱하기 위해 직렬 저항 사용이나 홀센서와 같은 전류 센서를 사용하게 되는데 이는 각각 저항 손실 증가와 가격 증가로 이어지게 되는 단점이 있다. 이에 이러한 출력 전류 센서 없이 출력 캐패시터의 전압을 이용하여 출력 전류를 간접적으로 센싱하여 출력 전류 피드포워드를 하는 기법을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 1. 서론

전자제품에 사용되는 전력변환기의 경우 일반적으로 원가 절감을 위해 최소한의 소자를 이용하여 구현하고자 한다. 이는 전력 변환기의 전압, 전류를 센싱하는 회로도 예외는 아니다. 때문에 출력 임피던스를 획기적으로 줄일 수 있는 출력전류 피드포워드 기법[1]-[3]을 사용하기 위한 전류 센서 사용에도 제한이 생겨 대부분의 전력변환기에는 출력 전류 피드포워드 기법을 적용하지 못하고 있다. 이는 일반적으로 전류 센서의 가격이 다른 패시브 소자에 비해 높거나 손실을 유발하여 전력변환기의 효율을 낮추기 때문이다. 이에 출력 전류 정보를 출력 전압에서 가져옴으로써 가격과 손실을 최소화 하면서 기존의 전류를 센싱하여 출력 전류 피드포워드를 하여 얻을 수 있는 빠른 부하 변동 반응을 보이는 기법을 제안한다. 제안한 기법은 boost converter에 적용하여 기존의 출력전류 센싱방법, 제안한 방법을 비교하고 이를 PSIM 시뮬리이터를 통해 검증 한다.

### 2. 출력 전류 피드 포워드

#### 2.1 기존 방식

일반적으로 출력 전류 피드 포워드는 다음 그림 1의 (a)와 같이 출력 전류를 직접 센싱(혹은 시리즈 저항을 이용한 센싱)을 통해 전류 정보를 인덕터 전류 레퍼런스에 더해주는 방식으로 구성된다. 일반적으로 전류 제어기가 전압제어기에 비해 10배 이상 빠르기 때문에 출력 전류 변동에 대해 전압 제어기가 따라가지 못하는 변동분을 바로 반영할 수 있어 아웃풋 임피던스가 낮아져 부하 변동에 보다 빠른 응답과 낮은 전압 리플을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 방법은 출력 전류를 센싱할 때 홀센서와 같은 소자를 사용하거나 직렬 저항을 사용해야 하는데 전자의 경우 가격적인 부담이 있고 후자의 경우 저항 손실이 생기게 되므로 출력 임피던스가 매우 중요하다.

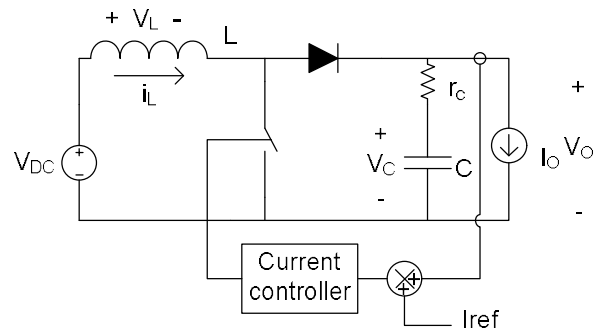


그림 1. 일반적인 출력 전류 피드포워드 구조도(boost converter 예시)

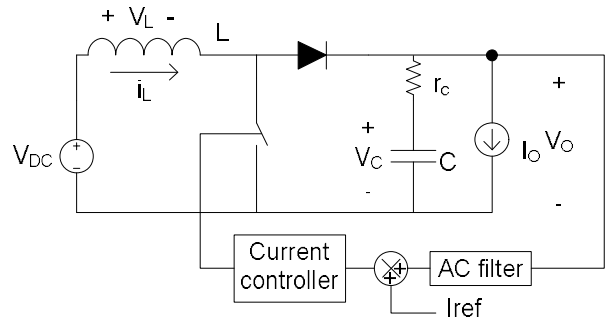


그림 2. 새로운 출력 전류 피드포워드 구조도(boost converter 예시)

회로를 제외하고는 필수적으로 사용되지는 않고 있다.

#### 2.2 새로운 출력 전류 피드 포워드

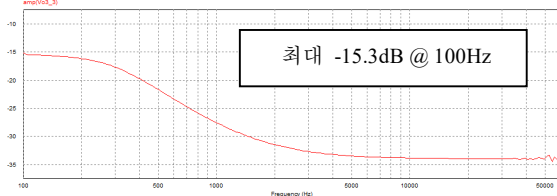
기존의 출력 전류 피드 포워드가 출력 전류 정보를 직접 가져왔다면 새로운 출력 전류 피드 포워드 기법은 출력 전압의 리플을 이용해 출력 전류 정보를 간접적으로 가져오는 기법이다. 출력 전압 리플에는 인덕터 전류와 출력 전류 정보가 들어 있는데 일반적으로 출력 전압을 센싱할 경우 더욱 축소되기 때문에 그 정보를 보기 어렵다. 그러나 그림 2와 같이 출력 전압의 DC값을 제외하기 위해 AC필터를 쓸 경우 순수 리플 성분만 볼 수 있게 된다. 따라서 출력 전압만을 이용하여 출력 전류 피드포워드가 가능하게 된다.

### 3. 모의 실험 결과

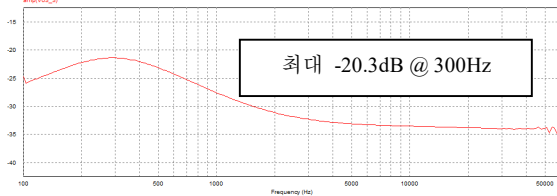
앞서 제안한 출력 전류 피드포워드의 출력 임피던스 개선 효과를 보기 위해 표 1과 같이 선정된 회로를 바탕으로 출력 전류 피드포워드 미사용, 기존 방식 적용,

표 1. 주요 회로 변수 및 소자

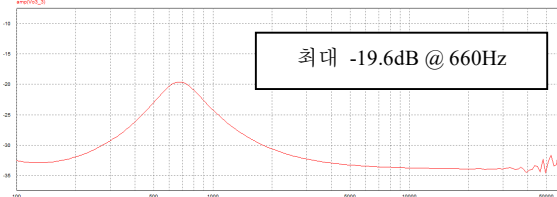
회로 변수 및 소자	값
$V_{DC}$	220 V
$V_o$	380V
$L$	1.2mH
$C$	4.7mF
$F_{sw}$	100kHz
$r_c$	20mOhm



(a) 출력 전류피드포워드 미적용



(b) 기존 방식 적용



(c) 제한한 방식 적용

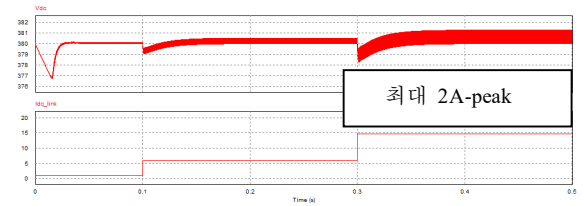
그림 3. 출력 임피던스 특성 곡선

제한한 방식 적용의 경우로 나누어 비교하여 그림 3에 나타내었다. 또한 PSIM 시뮬레이션 툴을 이용하여 출력 전류 변동시 출력 전압 변동 비교 실험 결과를 그림 4에 나타내었다.

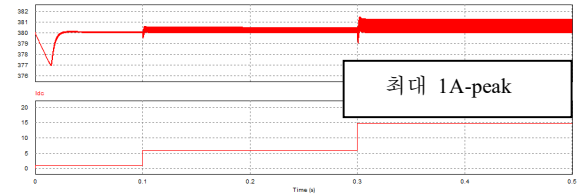
그림 3을 통해 알 수 있듯 출력 전류 피드 포워드 적용 전의 최대 출력 임피던스가 약 -15dB였지만 기존 방식 적용과 제한한 방식 적용의 경우 모두 최대 약 -20dB 정도로 출력 임피던스가 개선됨을 알 수 있다. 출력 전류를 변동시켜 출력 전압을 측정한 모의 실험에서도 출력 전류가 약 5A에서 15A로 변동하는 경우에 출력 전압 피크가 최대 2V였던 것이 기존 방식과 제한한 방식에서 1V정도로 거의 동일하게 줄어드는 것을 확인하였다.

#### 4. 결론

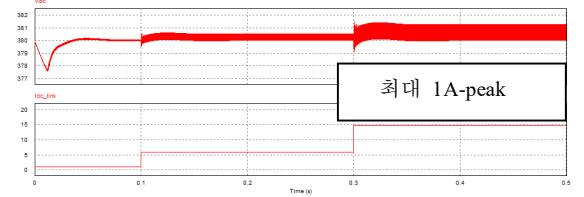
제한한 새로운 방식의 출력 전류 피드포워드 방식은 기존의 방식에 비해 출력 전류 센싱을 위한 값비싼 소자가 불필요하고, 직렬 저항을 이용한 센싱에 비해 손실이 작음에도 기존의 방식과 거의 유사한 출력 임피던스 개선을 보이고 있다. 따라서 제안한 방식의 출력 전류 피드포워드 기법을 통해 기존의 방식을 대체할 수 있을 것이다.



(a) 출력 전류 피드포워드 미적용



(b) 기존 방식 적용



(c) 제한한 방식 적용

그림 4. 부하 변동에 따른 주요 파형

연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No.20104010100490).

이 논문은 지식경제부 지식경제기술혁신사업 『실생활환경 그린 IT 기술 실증테스트 및 산업활성화 기반구축』 프로젝트의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### Reference

- [1] Suyong Chae, Byungchul Hyun, Pankaj Agarwal, Woosup Kim, Boyung Cho, "Digital Predictive Feed-Forward Controller for a DC-DC Converter in Plasma Display Panel", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 23, NO. 2, MARCH, 2008
- [2] Gabriel Eirea, Seth R. Sanders, "Adaptive Output Current Feedforward Control in VR Applications", IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS, VOL. 23, NO.4, JULY 2008
- [3] George K. Schoneman, Danil M. Mitchell, "Output Impedance Considerations for Switching Regulators with Current-Injected Control", IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS, VOL. 4, NO. 1, JANUARY 1989