

# 능동 출력 필터를 이용한 파워드 컨버터

최규식, 이제현, 조보형

서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

## Forward Converter using Active Output Filter

Kyusik Choi, Je-Hyun Yi, and Bo-Hyung Cho

School of Electrical Engineering, Seoul National Univ.

### Abstract

디지털 부하용 전원은 작은 스위칭 전압 리플, 정밀한 전압 제어, 빠르고 큰 부하 변동에 대한 응답 특성을 가져야 한다. 이를 위해서는 높은 스위칭 주파수와 큰 수동 필터가 요구된다. 그러나 스위칭 주파수는 전력 손실과 밀접한 관계가 있고 큰 수동 필터는 컨버터의 가격과 부피를 증가시키는 주요 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 출력에 병렬 연결된 능동 출력 필터를 이용하여 디지털 부하의 요구 조건을 만족시키면서 시스템의 효율 향상 및 수동 소자 저감이 가능한 방식을 제안한다. 400 V 입력 3.3 V, 10 A 출력의 2-스위칭 파워드 컨버터를 통해 기존 방식과 비교 분석한다.

### 1. 서론

전자 기술의 발달로 최근의 전자 제품은 대부분 디지털 프로세서를 기반으로 하고 있으며 이로 인해 디지털 부하용 전원에 대한 관심도도 높아지고 있다. 디지털 부하는 기존의 부하들에 비해 정밀한 전원을 요구 하고 있어서 PC용 전원의 경우를 예로 들면 [1] 스위칭 등에 의한 전압 리플을 기준 전원의 약 1% 이내로, 정상 상태 제어 전압을 기준 전압 대비  $\pm 5\%$  이내에 있을 것을 요구 하고 있으며 부하 변동 또한  $1A/\mu s$ 의 속도로 정격 전류의 30~60%까지 빠르고 크게 변동한다.

일반적으로 스위칭에 의한 전압 리플은 스위칭 주파수가 커질수록, 출력 인덕터와 캐패시터가 커질수록 작아진다. 또, 빠른 부하 변동에도 전압 변동 폭이 작기 위해서는 출력 캐패시터가 크거나 전력 변환기의 제어기가 빠른 부하 응답을 가져야한다. 그러나 높은 스위칭 주파수는 전력 변환 손실을 증가시키는 주요 원인이 되고 큰 출력 인덕터와 캐패시터는 시스템의 가격과 부피를 증가시키며 빠른 부하 응답 특성을 가지는 제어기 설계를 위해서는 높은 스위칭 주파수가 바탕이 되어야 한다는 복합적인 문제가 있다 [2]. 특히 대부분의 가전이 계통 전원을 이용하기 때문에 전력 변환기의 입력단은 고전압 저전류, 출력단은 저전압 고전류의 형태가 되어 입력단 쪽에서는 스위칭 손실이 주요하고 출력단 쪽에서는 도통 손실이 주요해진다. 이에 입력단 쪽 스위칭 주파수를 낮추는 대신 출력단에 고속 스위칭 벡 컨버터를 직렬로 추가하여 수동 소자를 줄이면서 입력단 스위칭 손실을 줄이는 방법도 존재한다 [3]. 주로 오프라인 다중 출력 컨버터에서 사용되는 방법으로 단일 출력에서의 사용은 제한적인데 직렬 연결된 벡 컨버터가 전체 전력을 감당해야 하므로 벡 컨버터 자체의 가격이 상승하고 전체 시스템의 효율이 벡 컨버터의 효율만큼 급센의 형태로 낮아지게 되기 때문이다.

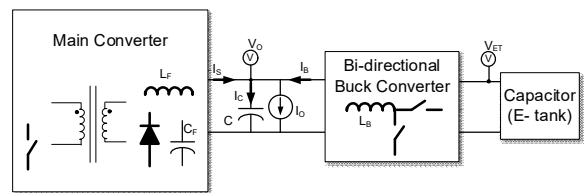
이에 본 연구에서는 직렬 연결이 아닌 병렬 연결된 컨버터를 통해 시스템의 효율을 높이면서 작은 용량의 벡 컨버터 설계로도 직렬 구성과 동일한 성능을 얻을 수 있게 한다. 이를 통해 전체 시스템의 전력 변환 효율이 높아지고 가격 저감을 기대 할 수 있다. 본 연구의 검증을 위해 400 V 입력, 3.3 V - 10 A 출력의 2-스위칭 파워드 컨버터와 양방향 벡 컨버터를 구성하였고 출력 전압과 시스템 효율을 실험적으로 검증하였다.

### 2. 능동 출력 필터

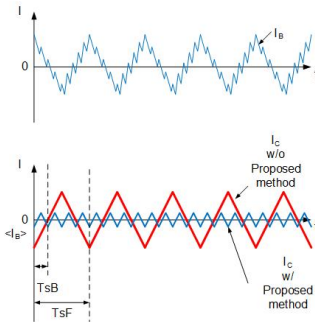
제안하는 능동 출력 필터는 일반적으로 출력 리플을 저감하기 위해 사용하는 수동 출력 필터 (LC 필터)와 달리 병렬 연결된 양방향 벡 컨버터가 리플 전류를 능동적으로 상쇄한다. 저압 스위치의 스위칭 손실은 고압 소자에 비해 상대적으로 작기 때문에 고속 스위칭을 통해서도 높은 효율을 얻을 수 있고 전체 부하 전류가 아닌 리플 전류 성분만을 감당 하기 때문에 효율이 상승하게 된다.

#### 2.1 제안 하는 방식의 구조 및 동작 구성

제안하는 방식의 구조 및 동작을 그림 1에 나타내었다. 메인 컨버터에서 출력으로 전달되는 전류를  $I_S$ , 능동 출력 필터에서 출력으로 전달되는 전류를  $I_B$ 라 하면 두 전류는 상반되게 제어 되기 때문에 출력 전압 리플을 결정하는 출력 캐패시터로 인가되는 전류  $I_C$ 가 최소화 되어 출력 전압 리플을 최소화 하게 된다.  $I_B$ 는 DC 성분을 포함 하지 않기 때문에 감당하는 전력이 최소화 되고 이를



(a) 제안한 방식의 구조



(a) 주요 파형

그림 1. 제안하는 방식의 구조 및 주요 파형

표 1. 주요 회로 변수 및 소자

회로 변수 및 소자	값
$V_{IN}$	400 V
$V_O$	3.3 V
$L_F$ (Forward only)	50 $\mu$ H
$L_F$ (Series, Proposed)	22 $\mu$ H
$L_B$	4.7 $\mu$ F
$C_F$ (Forward only)	4 mF
$C_F$ (Series, Proposed)	1 mF
$C_{ET}$	1 mF
$C_B$ (Series type output C)	1 mF
FswF (Forward)	50 kHz
FswB (Buck)	250 kHz

통해 기존 직렬 구성이 벡 컨버터의 효율의 곱의 형태로 전체 효율이 낮아졌던 것에 비해 리플 전류 성분 만을 감당하기 때문에 부하가 커질수록 효율 증가를 기대할 수 있다.

### 2.2 능동 출력 필터로의 동작

제안 하는 방식의 장점 중 하나는 전류 센서 없이 리플 전류를 상쇄 할 수 있다는 데 있다. 포워드 컨버터를 기준으로 메인 컨버터에서 출력으로 인가되는 전류의 기울기는 다음 식 (1)과 같이 정해진다.

$$\frac{di_{L_F}}{dt} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{IN} N_S / N_P - V_O}{L_F} \quad (\text{Forward SW ON}) \\ -\frac{V_O}{L_F} \quad (\text{Forward SW OFF}) \end{array} \right. \quad (1).$$

여기서  $I_F$ 는 포워드 필터 인덕터의 전류,  $N_S/N_P$ 는 변압기의 감압비를 나타낸다. 이를 바탕으로 이 전류 리플을 상쇄하기 위한 양방향 벡 컨버터의 시비율 변화량은 다음 식 (2)와 같이 결정된다.

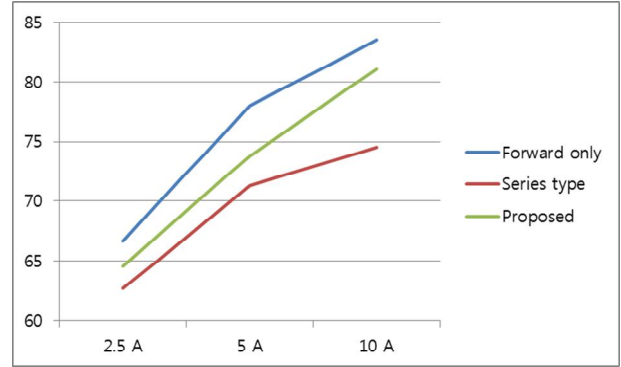


그림 3. 효율 측정 결과

$$\Delta D_B = \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_B(V_{IN} N_S / N_P - V_O)}{L_F V_{ET}} \quad (\text{Forward SW ON}) \\ \frac{L_B V_O}{L_F V_{ET}} \quad (\text{Forward SW OFF}) \end{array} \right. \quad (2).$$

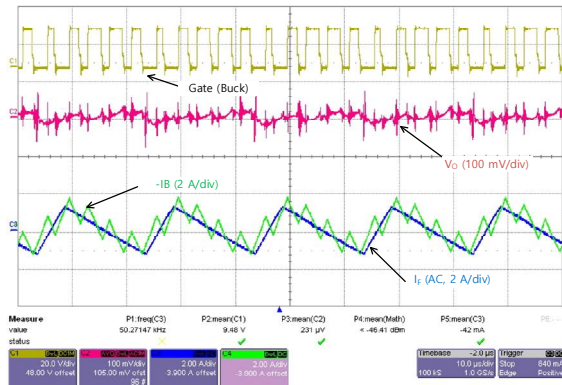
$\Delta D_B$ 는 양방향 벡 컨버터의 시비율  $D_B$ 의 변화량이다.

### 3. 실험 결과

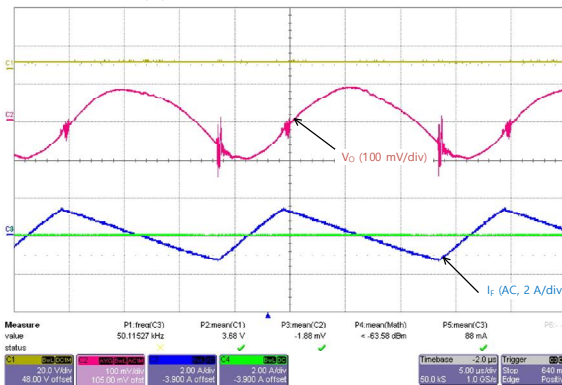
제안한 방식의 실제 동작과 효율 검증을 위해 포워드 컨버터와 양방향 벡 컨버터를 구성하여 실험하였다. 주요 파라미터를 표 1에 나타내었다. 주요 실험 파형을 그림 2에 나타내었고 부하별 효율 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. 동일한 출력 필터 기준으로 단독 포워드의 경우 약 200 mVpp의 전압 리플을 보이고 제안한 방식의 경우 약 40 mVpp로 약 1/5로 출력 전압 리플이 줄어 든 것을 확인 할 수 있다. 효율의 경우 제안한 방식이 기존 직렬 방식에 비해 최소 2%에서 최대 6% 까지 효율이 좋은 것을 알 수 있다. 단독 포워드의 경우가 효율이 가장 좋지만 주어진 전압 규정을 만족하기 위해서는 출력 인덕터가 50  $\mu$ H로 다른 방식에 비해 두 배 이상 커야하고 출력 캐패시터의 경우도 4 mF로 다른 방식의 두 배에 달한다. 따라서 제안한 방식이 수동 소자를 최소화 하면서 전력 손실 또한 줄일 수 있음을 확인 할 수 있다.

### 4. 결론

제안한 방식은 기존의 방식에 비해 수동 소자를 줄이면서도 전력 손실 증가를 최소화하였다. 이를 위해 필요한 시비율 변화에 대해 분석하였으며 이를 바탕으로 간단한 제어를 통해 원하는 동작을 구현 하였다.



(a) 제안한 방식의 주요 실험 파형



(b) 동일 출력 필터 구성에서 포워드 단독 동작 파형

그림 2. 주요 실험 파형

### Reference

- [1] INTEL, "Power Supply – Design Guide for Desktop Platform Form Factors," 2013
- [2] Erickson, Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics, 2<sup>nd</sup> ed, KAP, 2003
- [3] Gedaly Levin, "A New Secondary Side Post Regulator (SSPR) PWM Controller for Multiple Output Power Supplies," Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC, pp. 736-742, Mar 1995