

# 공진형 ZCS 방식을 이용한 고효율 Forward DC/DC 컨버터

박병우\*, 김기선\*, 김광현\*, 박성준\*  
전남대학교\*

## Forward DC/DC Converter of High Efficiency using the Resonant ZCS

Byoung-Woo Park\*, Ki-Sun Kim\*, Kwang-Hun Kim\*, Sung-Jun Park\*  
Chonnam National UNIV\*.

### ABSTRACT

최근 저전압 입력에 의한 대용량 DC/DC 컨버터의 수요가 급증함에 따라 대용량 DC/DC 컨버터에서도 효율 및 저가화가 매우 중요한 요소로 자리 잡고 있다. 따라서 본 연구에서는 저전압 대용량용 DC/DC 컨버터 구성에서 고효율 및 저가화를 위해 1개의 능동 스위치 소자에 의한 ZCS를 구현할 수 있는 새로운 타입의 공진형 Forward DC/DC 컨버터 구조를 제안하고, 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

현대의 전원장치에서는 전력용 반도체 소자의 고속화와 고밀도화에 의해 고출력 고주파 스위칭 레귤레이터가 극소화되는 추세에 있고, 점차적으로 고효율의 안정된 전원을 필요로 하는 전자 장치들이 급속하게 확대됨으로서 고효율 DC/DC 컨버터에 대한 중요성이 더욱 더 커지고 있다. 이러한 고효율 DC/DC 컨버터 구성을 위해서는 다수의 능동 및 수동소자가 요구되어 그 구성의 복잡성으로 인하여 경제적 단점을 안고 있다. 따라서, 최근 고집적 고효율 및 저가용 소프트 스위칭 전력변환장치의 구성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

본 논문에서는 능동 스위치 소자 1개를 사용하는 공진형 ZCS 방식을 이용한 고효율 Forward 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 Forward 스위칭을 영전류 스위칭을 적용하여 스위치 on/ off시 스위칭 소자에 생기는 전력 손실을 감소시키므로서 효율을 개선한다. 그리고 ZCS(Zero Current Switching)를 위한 L-C공진 회로 중 리액턴스 성분을 1, 2차 절연을 위한 고주파 변압기의 누설인덕턴스 성분으로 대체함으로써 별도의 리액터를 추가하지 않기에 시스템 사이즈 및 비용을 줄일 수 있다.[2] 제안된 컨버터의 타당성 검증을 위하여 본 논문에서는 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 통해 검증 하였다.

### 2. 제안하는 새로운 공진형 ZCS Forward 컨버터

#### 2.1 공진형 ZCS Forward 컨버터의 구조

다음 그림 1은 본 논문에서 제안하는 새로운 방식의 능동 스위치 소자 1개를 사용하는 공진형 ZCS 방식을 이용한 Forward 컨버터의 구조이다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 공진을 위한 L이 없이 고주파 변압기의 누설인덕턴스 성분과

변압기 2차측의 C2를 이용한 직렬 L-C 공진하여 Q1 스위치의 on/off시 스위칭 손실을 줄임으로써 고효율화를 제안하는 새로운 Forward Type DC/DC 컨버터이다.

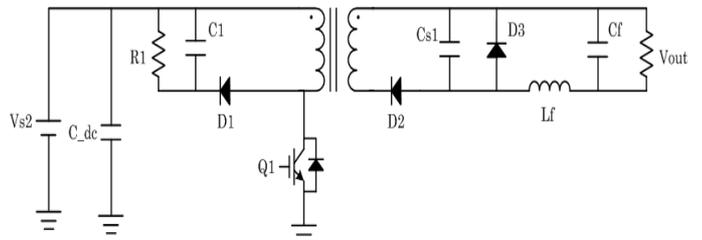


그림 1 제안된 공진형 ZCS Forward 컨버터

Fig 1. Proposed resonance ZCS Forward Converter

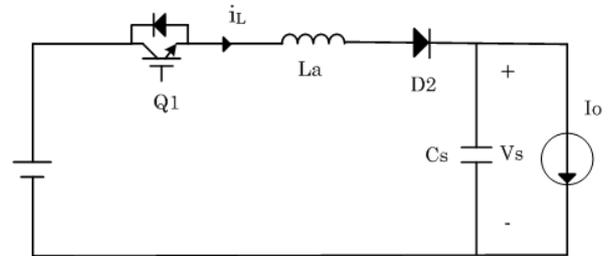


그림 2 LC 직렬공진 등가회로

Fig 2. Lc serial resonance equivalent circuit

그림2는 누설인덕턴스 성분  $L_a$ 와 2차측의 공진커패시터 성분  $C_{s1}$ 를 변압기 1차측으로 환원한 등가회로로 고주파 변압기가 이상적이라 가정하면 아래와 같은 값으로 정의 될 수 있다.

$$C_s = C_{s1} \quad (1)$$

$$V_s = V_{Cs1} \quad (2)$$

식 (1), (2)의 등가화 된 회로의 전압, 전류식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$i_L = C_s \frac{dv_s}{dt} + I_o \quad (3)$$

$$v_s = V_{in} - L_a \frac{di_L}{dt} \quad (4)$$

단, 초기조건  $T_o$ : on time,  $i_L(T_o) = 0$ ,  $V_s(T_o) = V_{s0}$

누설인덕턴스  $L_a$ 는 스위치가 턴온되면  $C_s$ 와 함께 공진을 시작한다. 위의 (3), (4) 식과 초기조건으로 공진시 누설인덕턴스전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \omega_r^2 (i_L - I_o) = 0 \quad (5)$$

$$\text{단, } \omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_a C_s}}, \text{ 공진주파수 } f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C_s}} \quad (6)$$

## 2.2 시뮬레이션

그림 3은 제안된 ZCS가 가능한 Forward 컨버터의 특성을 분석하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도이다. 시뮬레이션에서 스위칭 주파수는 40[kHz]로 설정하였으며, 입력전압 12[V]에 출력전압 250[V], 출력전력을 약 3[kW]로 설정하였다.

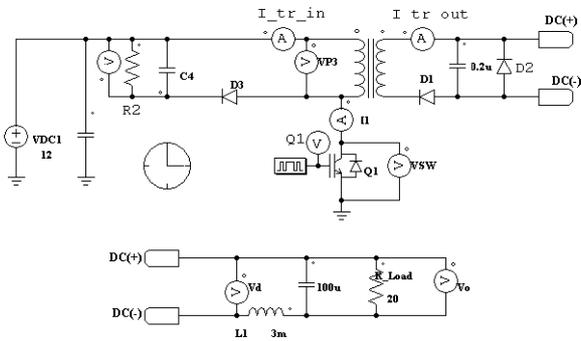


그림 3. 공진형 ZCS Forward 컨버터 시뮬레이션 회로도  
Fig 3. Simulation of resonance ZCS

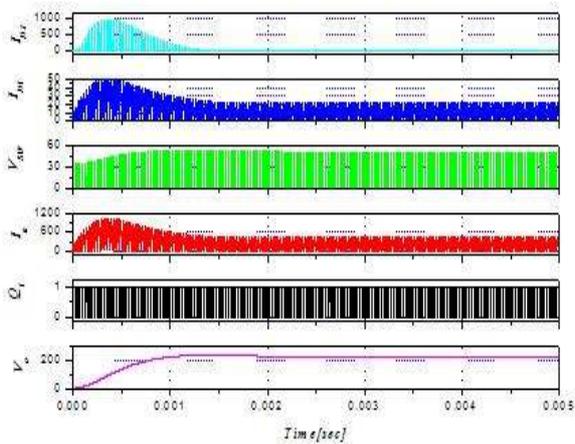


그림 4. 제안된 컨버터의 동특성  
Fig 4. ZCS switching current/voltage

그림 4는 제안된 컨버터의 동 특성을 분석하기 위한 파형이며, 초기 기동시 에너지 회수용 콘덴서에 큰 과도전류가 흐르나 정상상태에서는 Zero가 됨을 알 수 있고, 이 과도전류는 제어기의 시정수를 키우면 줄일 수 있다. 또한 출력전압은 2m[sec]안에 정상상태로 됨을 알 수 있다. 제안된 컨버터의 동작은 스위치 Q1이 on 되면 D3는 순방향 바이어스 되어 누설 리액턴스와 콘덴서의 공진으로 Q1은 ZCS로 동작하게 되고 2차측 L1에 에너지가 축

적된다. 스위치 off시 2차측 D3는 역방향 바이어스 되고 on시 L1에 축적되어 있던 에너지에 의해 부하에 전달되는 루프가 형성된다.

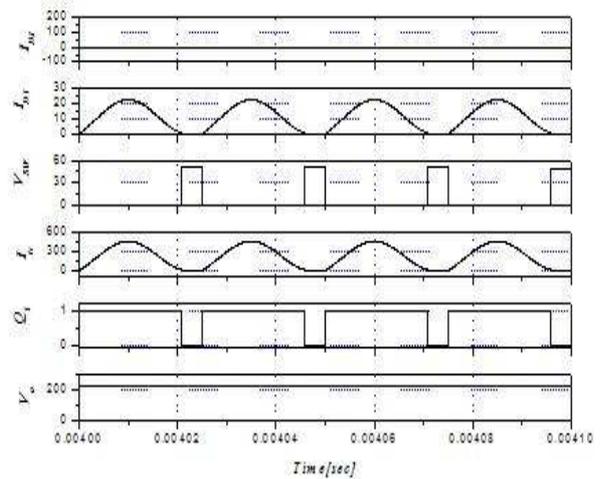


그림 5. 제안된 컨버터의 ZCS 특성  
Fig 5. ZCS switching of proposed converter

그림 4는 스위칭의 ZCS를 조사하기 위한 파형으로 스위치 신호인 Q1의 on/off시 스위치 전류 Itr이 Zero가 됨을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션 실험 결과 누설 인덕턴스와 2차측 커패시터의 공진에 의해 스위치 on/off 시 ZCS의 형태가 나타남을 증명하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 스위칭 손실을 최소화 하기 위해 기존의 Forward 컨버터에 별도의 리액턴스 성분 없이 절연용 변압기의 누설 인덕턴스 성분과 2차측의 커패시터를 통해 직렬형 L-C공진을 이용한 ZCS 방식의 새로운 타입의 공진형 ZCS Forward 컨버터를 제안하였다. 제안한 방식은 공진을 위한 별도의 리액턴스 성분을 필요로 하지 않아 비용이나 컨버터의 사이즈를 줄임과 동시에 ZCS를 통한 스위칭 손실을 줄여 줌으로써 고효율화를 이룰 수 있었으며 이를 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2007-P-EP-HM-E-09-0000)

## 참고 문헌

- [1] Jain, M.; Jain, P.K.; Daniele, M, "Analysis of a bi-directional DC-DC converter topology for low power application", IEEE 1997 Canadian Conference on, Volume 2, 25-28 May 1997 Page(s):548 - 551 vol.2
- [2] Mi-Seon Choi, Sung-Geun Song, Sung-Jun Park, Dae-Kyong Kim, and Yong-Gu Kim "전기자동차용 고효율 승압형 DC/DC 컨버터 개발", 전력전자학회 논문지 제 15권 제 2호, pp, 127~133, 2010. 4