

# 넓은 출력 전압 범위를 갖는 공진을 이용한 전류원 양방향 컨버터

하은정<sup>1</sup>, 노용수<sup>1</sup>, 오민석<sup>2</sup>, 이택기<sup>3</sup>, 원충연<sup>†</sup>  
 성균관대학교<sup>1</sup>, INTECH-FA<sup>2</sup>, 한경대학교<sup>3</sup>

## Current-fed Bi-directional Converter using a Resonance with Wide Output Voltage Range

Eun-Jung Ha<sup>1</sup>, Yong-Su Noh<sup>1</sup>, Min-Seuk Oh<sup>2</sup>, Taek-Kie Lee<sup>3</sup>, Chung-Yuen Won<sup>†</sup>  
<sup>1</sup>Sungkyunkwan University, <sup>2</sup>INTECH-FA, <sup>3</sup>Hankyung National University

### ABSTRACT

This paper proposes current-fed bi-directional DC-DC converter using a resonance (CF-BCR) with wide output voltage range. The steady state analysis and operation principles of CF-BCR are introduced. To increase the output voltage range with satisfying soft switching condition, switching frequency, duty and number of times of the resonance are controlled. The proposed converter and its control method are verified by theoretical analysis and PSIM simulation.

### 1. 서론

전기 자동차용 충전기 및 태양광 발전 등에 적용되는 전력변환장치는 고출력 및 고효율을 요구한다. 또한 배터리를 이용하여 에너지를 충·방전할 수 있도록 양방향 전력변환장치가 필요하다. 전류원 컨버터는 전압원 컨버터에 비해 적은 턴 비로 고출력이 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 기존의 전류원 컨버터는 스위치 턴 오프 시 변압기 누설 인덕턴스에 의하여 전압 스파이크가 발생하여 추가적인 회로 구성이 필요한 단점을 갖는다. 또한, 기존의 전류원 컨버터는 하드 스위칭으로 인하여 효율 향상에 어려움이 있으며 동작 주파수가 제한되어 전력 밀도 향상에 어려움을 갖는다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 추가적인 회로 구성없이 공진을 이용한 전류원 양방향 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 공진 소자를 통하여 전압 스파이크 문제를 해결하였고 모든 스위치가 소프트 스위칭 조건을 만족한다. 또한 소프트 스위칭 조건을 만족하며 출력 전압 범위를 증가시키기 위해 공진 횟수 및 주파수-듀티 제어법을 제안한다. 제안하는 바는 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

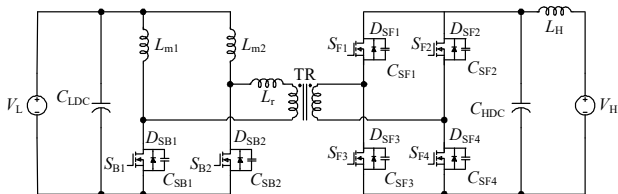


그림 1 전류원 양방향 공진형 컨버터 (CF-BCR)

Fig. 1 A current-fed bi-directional converter using resonance (CF-BCR)

### 2. 제안하는 컨버터의 동작 특성

#### 2.1 제안하는 전류원 양방향 공진형 컨버터

그림 1은 제안하는 공진을 이용한 전류원 양방향 컨버터이다. CF-BCR의 저전압단은 두 개의 주 인덕터 ( $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ), 공진 소자 ( $L_r$ ,  $C_{SBx}$ )와 스위치  $S_{Bx}$ 로 구성되어 있다. 고전압단은 공진 커패시터  $C_{SFx}$ 가 추가된 폴-브릿지 컨버터로 구성되어 있다. 제안하는 컨버터의 모든 스위치는 영전압 스위칭 (Zero voltage switching, ZVS) 조건을 만족하며, 특히 저전압단 스위치는 영전류 스위칭 (Zero current switching, ZCS) 조건 또한 만족한다.

#### 2.2 CF-BCR의 동작 모드

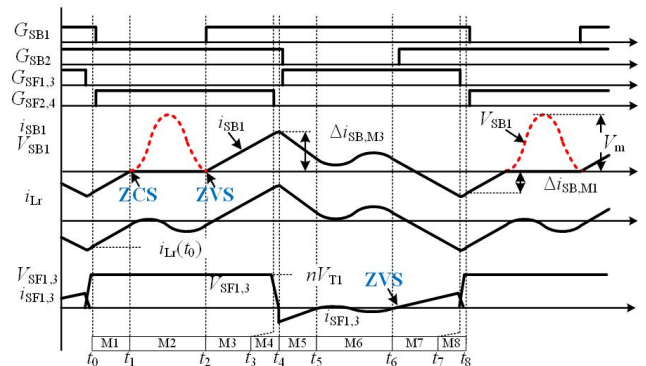


그림 2 제안하는 CF-BCR의 주요 파형

Fig. 2 The key waveforms of the proposed CF-BCR

그림 2는 CF-BCR의 주요 파형이다. 공진 인덕터 전류  $i_L$ 와 저전압단 스위치 전류  $i_{SBx}$ 를 기준으로 총 8개의 모드로 나눌 수 있으며, 저전압단이 듀얼 하프 브릿지 구조이기 때문에 모드 1-4와 모드 5-8은 서로 대칭적으로 동작한다. 제안하는 컨버터의 저전압단 스위치는 주 인덕터 전류의 연속적인 흐름을 위하여 0.5이상의 듀티로 동작하고, 고전압단 스위치는 소프트 스위칭 조건을 만족시키기 위하여 저전압단 스위치와 동기시켜 동작시킨다. 모드 1 (모드 5)에서 저전압단 스위치의 역병렬 다이오드를 통하여 흐르던 전류가 0이 될 때, 스위치가 턴-오프되기 때문에 ZCS 턴-오프 조건을 만족하며, 이 후 모드 2와 모드 6에서 공진이 시작한다. 모드 2 (모드 6)에서 스위치의 전압이 공진 현상에 의하여 영전압이 될 때 저전압단 스위치를 턴-온시키기 때문에 ZVS 턴-온 조건을 만족한다. 고전압단 스위치는 그림 2와 같이 ZVS 턴-온 조건을 만족하므로 제안하는 컨버터에서 스위칭 손실은 없다고 가정한다.

### 2.3 전압 전달비

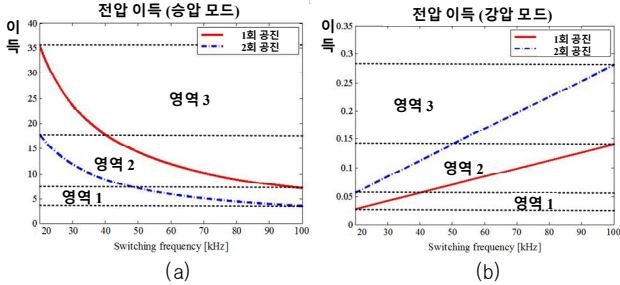


그림 3 공진 모드별 전압 이득 곡선 (a) 승압 모드, (b) 강압 모드  
Fig. 3 DC voltage gain according to single and double resonance in (a) boost mode, (b) buck mode

CF-BCR의 전압 전달비는 입력 전력  $E_{in}$ 과 출력 전력  $E_{out}$ 를 이용하여 식 (1)과 같이 계산 가능하다. 여기서  $m_T$ 는 변압기 턴비,  $n_c$ 는 공진 횟수,  $f_{sw}$ 는 스위칭 주파수,  $f_{res}$ 는 공진 주파수를 의미한다.

$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{n_T f_{res}}{n_c f_{sw}} \quad (1)$$

식 (1)을 통하여 스위칭 주파수에 따른 전압 이득은 그림 3과 같다. 따라서 스위칭 동작 주파수 범위가 결정되어 있을 경우, 출력 전압 지령, 스위칭 주파수, 공진 횟수 및 스위치 전류의 첨두값을 고려하여 동작 영역을 결정한다. 승압 모드에서 낮은 승압비를 요구할 경우, 그림 4의 제어기는 저전압단 스위치 듀티 제어로 공진 횟수를 증가시켜 컨버터를 영역 1에서 동작시킨다. 영역 2의 경우, 제어기는 스위칭 주파수에 따른 스위칭 전류 첨두값을 고려하여 공진 모드를 결정한다. 영역 3의 경우, 공진 횟수를 줄여 컨버터가 높은 승압비를 가지며 동작하게 한다. 강압 모드에서도 컨버터의 동작 영역은 전압 지령과 주파수에 따른 전류 첨두값을 이용하여 결정된다. 식 (2)는 각 모드에서의 스위치 전류 첨두값을 나타내며, 식 (3)은 소프트 스위칭을 만족시키기 위한 듀티비를 의미한다.

$$i_{SB,pk} = \frac{V_H}{n_T L_T f_{sw}} (d_{SB} - 0.5 - d_D) \quad (2)$$

$$d_{SBx} = \frac{3}{4} \frac{n_c f_{sw}}{2 f_{res}} + \frac{n_T^2 f_{res} L_T I_H}{2 n_c V_H} \quad (3)$$

### 3. 출력 전압 제어기

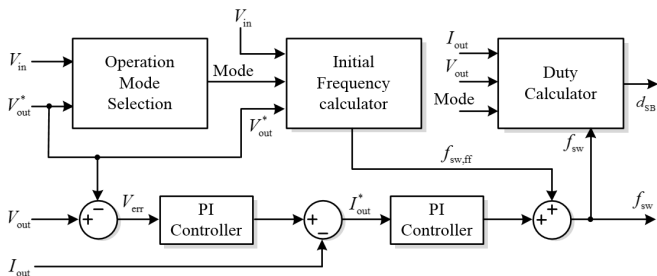


그림 4 CF-BCR의 출력 전압 제어 블록도  
Fig. 4 Output voltage control block diagram of CF-BCR

그림 4는 CF-BCR의 제어 블록도이다. 넓은 출력 전압 범위와 소프트 스위칭을 만족하기 위하여, 스위칭 주파수  $f_{sw}$ 와 듀티  $d_{SB}$ 는 동시에 제어되어야 한다. 제어기는 동작 스위칭 주파수 범위 내에서 출력 전압 지령에 따라 전류 첨두값 등을 고려하여 컨버터 동작 영역을 결정한다.

### 4. 시뮬레이션 결과

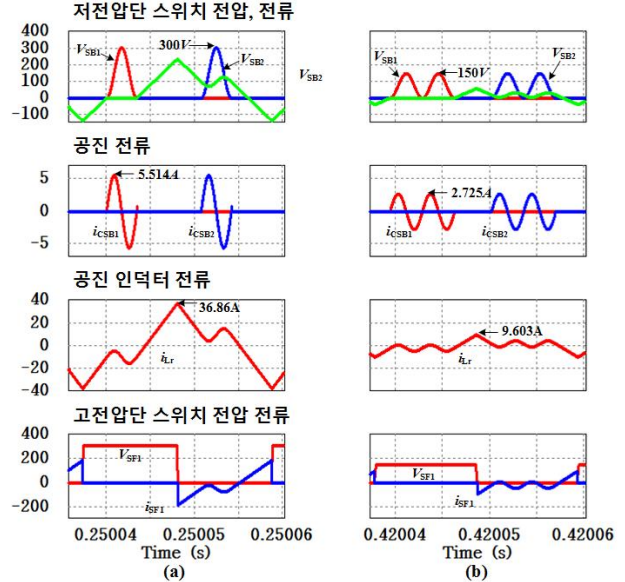


그림 5 승압 모드 시 시뮬레이션 결과 (a) 1회 공진 (b) 2회 공진  
Fig. 5 Simulation results in boost mode (a) single resonance and (b) double resonance mode

그림 5는 제안하는 CF-BCR의 공진 횟수에 따른 시뮬레이션 결과이다. 그림 5(a)의 경우 출력 전압 지령이 높기 때문에 컨버터는 1회 공진 하도록 제어되며, 스위치들은 소프트 스위칭 조건을 만족한다. 그림 5(b)의 경우, 상대적으로 낮은 출력 전압 지령에 의하여 컨버터는 2회 공진하도록 제어되며, 공진 횟수가 증가하여도 주파수-듀티 제어를 통하여 스위치는 소프트 스위칭 조건을 만족한다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 넓은 출력 전압 범위를 갖는 공진을 이용한 전류원 양방향 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터의 모든 스위치는 공진 소자를 이용하여 소프트 스위칭 조건을 만족하였다. 또한, 소프트 스위칭 조건을 만족하고 출력 전압 범위를 증가시키기 위하여 공진 횟수 및 주파수-듀티 제어법을 제안하였으며 이에 대한 동작 특성과 제어법을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2014R1A2A2A05006744)

### 참 고 문 헌

[1] Bo Yuan, "Analysis and design of a high step-up current-fed multiresonant DC-DC converter with low circulating energy and zero-current switching for all active switches," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 59, no. 2, pp. 964-978 2012.