

## 다단 콘덴서형 DC-DC 컨버터

이세나\*, 송성근\*, 김동욱\*\*, 김세민\*, 남해곤\*, 박성준\*  
전남대학교\*, 전남테크노파크\*\*

### DC-DC Converter Using Multi Stage Capacitor

Se-Na Lee\*, Sung-Geun Song\*, Dong-Ok Kim\*\*, Se-Min Kim\*, Hea-Kon Nam\*, Sung-Jun Park\*  
Chonnam National University\*, Jeonnam Technopark\*\*

**Abstract** - A dc/dc power conversion system using multi stage capacitor is proposed in this paper. The proposed new type converter is designed from high efficiency dc/dc converter with fixed boost ratio and variable voltage converter. The tests have been done using PSIM computer simulation to confirm the analysis and control concept.

#### 1. 서 론

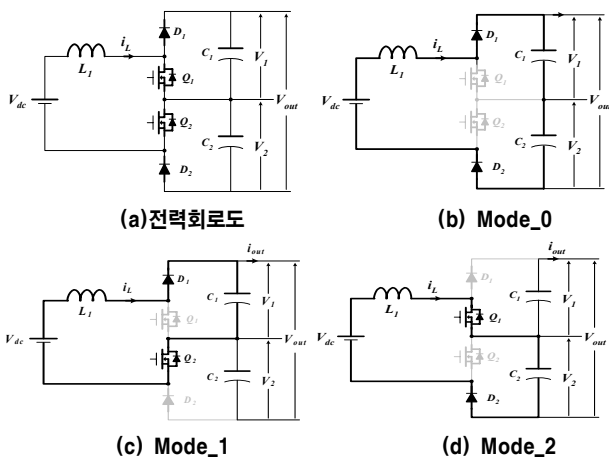
일반적인 DC/DC 컨버터는 에너지 전달을 위해 하나 이상의 인덕턴스가 필요하나, 철손으로 인한 효율 저하의 원인이 되고 있다. 이를 극복하기 위한 한 방법으로 일정 승압비를 갖는 고효율 DC/DC 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 이러한 고효율 컨버터는 일정 승압비만 갖는 단점으로 인해 전압가변이 요구되는 시스템에서는 큰 제약이 되고 있다.

본 논문은 일정 승압비를 갖는 고효율 DC/DC 컨버터와 전압 가변형 컨버터의 조합에 의한 새로운 DC/DC 컨버터의 전력변환기 구조를 제안한다. 또한 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 DC/DC 변환 시스템의 기술

그림 1은 일반적으로 사용되는 전류불연속 타입의 고효율 다단 DC/DC 컨버터의 구조 및 동작모드를 나타내고 있다.



〈그림 1〉 다단 컨버터의 전력회로도 및 동작모드

그림 1의 전력회로는 기본적으로 2개의 콘덴서와 스위치를 사용하여 교번 적으로 각 콘덴서에 입력전압을 인가하는 방식이다. 출력전압은 두 콘덴서 전압의 합으로 나타나며, 각 콘덴서의 평균전압은 입력전압과 동일하므로 승압비가 2인 컨버터가 된다. 이 컨버터의 동작모드는 크게 3가지 모드로 나눌 수 있으며, 각 모드는 아래와 같다.

**Mode 0 :** 이 모드는 그림 1(b)와 같이 직렬로 연결된 두 개의 콘덴서와 입력전압이 병렬로 연결된 것으로, 인덕터의 전류가 연속 모드가 되는 경우 두 스위치 소자가 Off되는 경우이다.

**Mode 1 :** 이 모드는 스위치 Q1이 On하는 시점에서부터 시작되며, 입력전원으로 콘덴서(C2)를 충전하게 된다. 이때 인덕터의 전류가 불연속 모드일 때에는 충전전류는 L1-C2를 통한 직렬 공진형태가 되며, 공진 주파수는 아래와 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_2}} \quad (1)$$

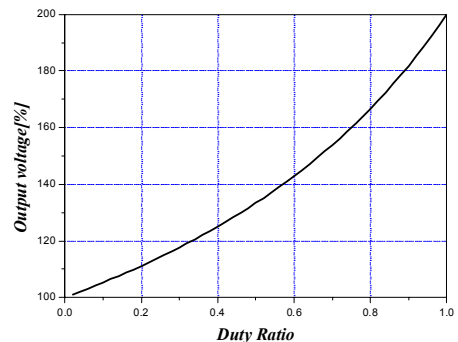
본 모드는 공진주기의 절반이 되는 시간에서 끝난다. 만일 공진 주파수가 스위칭 주파수보다 작다면 인덕터에 흐르는 전류는 연속이 되며, 이 조건을 만족하는 인덕터 값은 아래와 같다.

$$L_1 \geq \frac{1}{(2\pi)^2 C_2 f_o^2} \quad (2)$$

공진용 인덕턴스 값이 식 (2)를 만족한다면, 인덕터에 흐르는 전류는 연속이 되며, Q1 스위치가 on하는 순간 인덕터의 전류는 영에서 시작되어 ZCS동작이 되고, Q1 스위치가 off하는 순간 까지 공진모드가 끝나지 않아 스위치 off시는 Soft-switching이 되지 않게 된다. 이 때 승압비는 식 (3)과 같다.

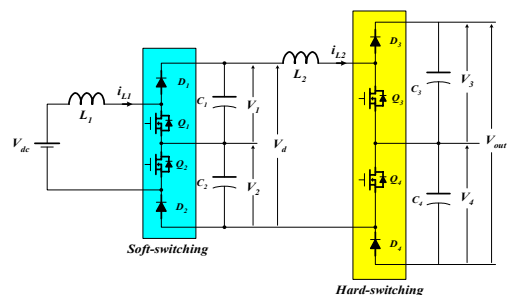
$$V_{out} = \frac{2}{2-d} V_{dc} \quad (3)$$

따라서 연속모드로 동작할 경우 출력전압의 제어범위는 입력대비 100~200[%]가 된다.



〈그림 2〉 전류 연속모드 시 시비율에 따른 승압비

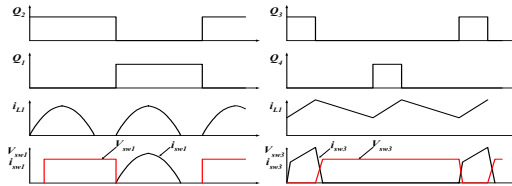
**Mode 2 :** 이 모드는 스위치 Q2가 on하는 시점에서부터 시작되며, 입력전원으로 콘덴서(C1)를 충전하게 된다. 동작은 mode\_1과 동일하다.



〈그림 3〉 제안된 다단 DC/DC컨버터의 구조

산업계에서 요구되는 컨버터는 출전전압의 운전 범위가 어느 정도 한정되는 경우가 대부분이다. 이러한 경우 일반적으로 컨버터의 운전전압 범위는 정격전압의 50%이내에서 제어되어도 문제가 없다. 본 논문에서는 높은 승압비를 갖으며, 출력전압운전 범위가 50%가 되는 다단 DC/DC 컨버터를 제안한다. 그림 3에서 제안된 다단 DC/DC 컨버터는 동일한 컨버터 구조를 직렬로 2단 연결하고, 1단 컨버터는 매우 적은 공심 인덕터를 사용하여 스위치 on-off시 soft-switching이 가능하도록 불연속 모드로 동작하였으며, 2단 컨버터를 출력전압을 가변하기 위해 스위치 off시 soft-switching이 되지 않는 연속모드로 동작시켰다. 따라서 본 제안된 컨버터의 승압비는 2-4배가 되는 구조가 된다.

그림 4는 제안된 컨버터 구조에서 각 단의 스위칭 동작을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 1단 컨버터는 스위치 on-off시 ZCS가 이루어지고, 2단 컨버터는 스위치 on-off시 hard-switching이 이루어짐을 알 수 있다.



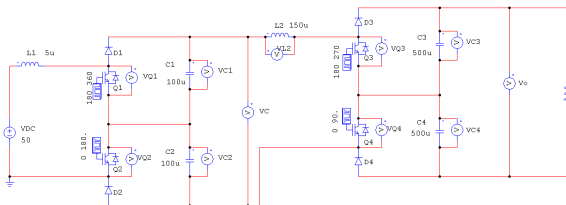
(a) 1단 컨버터 스위치 (b) 2단 컨버터 스위치

<그림 4> 제안된 DC/DC컨버터의 스위칭 동작

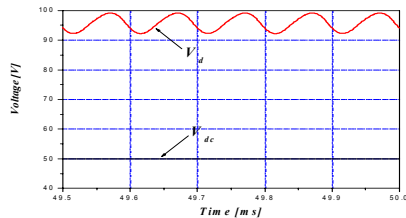
또한 soft-switching 구현을 위해 입력단에 용량이 매우 적은 공심 인덕터를 삽입하여, 충전 시 공진형 타입이 되도록 하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과

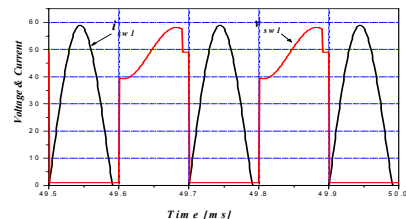
그림 5는 본 컨버터의 타당성을 검증하기 위한 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도이다. 입력전압은 50[V]이며, 2단 컨버터의 시비율을 0.25로 설정하여 출력전압이 125[V]인 경우이다. 1단 컨버터의 공진용 리액턴스 및 커패시턴스는 각각 5[μH], 100[μF]로 설정하였으며, 2단 컨버터의 리액턴스 및 커패시턴스는 전류 연속조건을 만족하도록 각각 150[μH], 500[μF] 설정하였고, 스위칭 소자 및 다이오드의 포화전압을 1[V]로 설정 하였다.



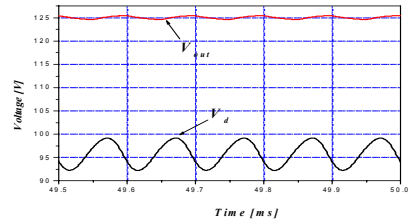
<그림 5> 시뮬레이션 회로도



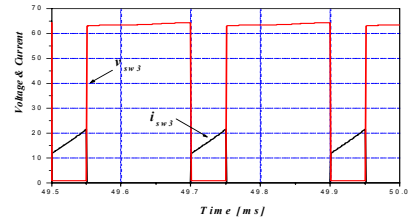
(a) 1단 컨버터의 입출력전압



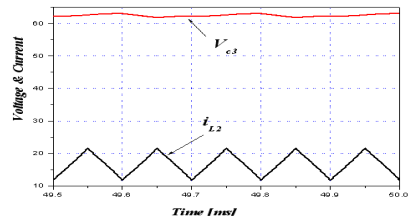
(b) 1단 컨버터의 스위치 전압, 전류



(c) 1단 컨버터의 입출력전압



(d) 2단 컨버터의 스위치 전압, 전류



(e) 2단 인덕터 전류 및 콘덴서 전압

<그림 6> 시뮬레이션 결과

그림 6은 출력이 약 1.5[kW]인 경우의 시뮬레이션 결과로, 그림 6(a)에서 보듯이와 같이 1단 컨버터의 출력전압은 입력전압의 2배보다 약간 적은 95.5[V]로 나타났으며, 이는 컨버터의 전력소자의 전압강하에 따른 결과로 사료된다. 그림 6(b)에서 1단 컨버터의 리액터 전류 피크치는 59[A] 나타났으며, 스위칭 소자는 양호한 soft-switching이 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 스위칭 소자의 손실은 도통 손실만 나타남을 알 수 있다. 그림 6(c)에서는 2단 컨버터의 입력전압에 대한 출력전압을 나타내고 있으며, 출력전압의 리플율은 약 0.78[%]로 양호하게 나타났다. 그림 6(d)는 2단 스위치의 동작파형으로 Hard-switching이 이루어짐을 알 수 있는데 이는 출력전압 제어를 위한 연속모드로 동작한 결과이다. 그림 6(e)는 2단 컨버터의 인덕터 전류 및 콘덴서 전압으로 리액터 전류 피크치 및 리플율은 16.75[A], 57[%]로 나타났다.

### 4 결 론

본 연구는 soft-switching 및 일정 승압비를 갖는 고효율 DC/DC 컨버터와 전압 가변이 가능한 컨버터의 조합에 의한 새로운 타입의 DC/DC 컨버터 구조를 제안하고, 제안된 새로운 컨버터의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 제안된 컨버터는 1단과 2단의 회로를 각각 soft-switching과 hard-switching으로 설계함으로써 효율성과 보호, 두 가지 측면에서 제어와 보장을 가능하게 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] P. W. Lee, Y. S. Lee, D. K. W. Cheng, and X. C. Liu, "Steady-State Analysis of an Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors," IEEE Trans. on Ind. Electron., vol. 47, no. 4, pp. 787-795, 2000.
- [2] M. S. Elmore, "Input current ripple cancellation in synchronized, parallel connected critically continuous boost converters," in Proc. of IEEE APEC, 1996, pp. 152-158.
- [3] R. Lenk, Practical Design of Power Supplies, McGRAW-HILL & IEEE Press, pp. 6-29, 1998.