

# 고출력 SMPS 설계

송광철, 박성민, 송광석\*  
(주)엘탑, 전남대학교\*

## SMPS Design for high voltage input

Gwang Cheol Song, Sung Min Park, Kwang Seok Song\*  
Ltop, Chonnam National University\*

### ABSTRACT

본 논문은 Forward Converter방식의 DC/DC 컨버터 회로를 기반으로, 1000[V]급에 해당하는 고전압 입력으로부터 절연된 저전압을 출력하는 고압SMPS에 관한 것이다. 제안된 토폴로지는 고전압을 분배하는 커패시터와 MCU 전용의 커패시터를 직렬로 구성하고, 각 커패시터에 분배된 전압을 입력으로 다중 여자 방식의 컨버터 구조로 되어있다. 직렬 커패시터 구조는 고압환경에서 각 소자들의 절연 및 전압스트레스를 저감할 수 있으며, 제어기 전용의 커패시터는 시스템의 초기구동을 위한 자가충전 (Self Power) 및 Black Start의 시스템 안정화 구조이다. 또한 각 모듈에 연결된 모든 DC/DC컨버터 출력이 하나의 변압기에 연결되는 구조를 취하고 있어 Passive방식의 단일 코어를 갖는고주파 변압기를 통하여 자속을 공유함으로써 밸런싱이 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안된 공진회로는 PISM을 이용한 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성과 우수성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 세계의 도시화 및 에너지수요량 증가로 인한 변화들은 전력산업에 변화를 요구하고 있으며 이는 신재생 에너지 중요성이 부각되고, 혁신적이고 고효율적인 전력송전의 해법이 요구되고 있다.[1] 산업현장에서는 AC220V에서 DC5~24V를 변환하는 SMPS방식은 일반화된 현실이지만 공장의 경우 AC380~440V를 사용하고 정류시 DC 900V가 되며 태양광과 풍력의 경우 DC300~900V가 발전전원을 통한 입력을 받는 고입력전압을 갖는 SMPS의 필요성을 갖는다. 결국 전력변환을 위한 컨버터 분야의 모듈형 멀리레벨컨버터는 HVDC 시스템과 더불어 LVDC 같은 고전압 전압형 컨버터로 스위칭의 손실저감, 시스템 확장성, 출력단의 필터용량 축소 등의 장점으로 인해 폭넓은 연구가 이뤄지고 있는 실정이다.

일반적으로 하드웨어구성은 2개의 스위치와 다이오드를 포함한 Half Bridge방식으로 구성되며, 다수개의 커패시터와 병렬로 구성되어, 대전력을 분할하여 공급한다. 변압기를 거쳐 전달된 모듈의 전압은 각 스위치 소자와 커패시터 및 부품들의 절연내력에 중요한 문제이며, 모듈내의 드라이버 및 컨트롤러의 전원은 모듈내의 커패시터로부터 자가전원을 이용한다.

### 2. 제안된 고출력 SMPS Topology

일반적인 고압전용 SMPS는 자속을 공유하기 위한 고주파 변압기, 입력전압에서 커패시터의 분배된 전압으로 절연전압의 내압을 갖는 스위치와 제어를 위한 드라이버, 필터, 보호로 이루어져 있다. 1000[V] 이상의 고압 SMPS는 디바이스의 전압 스트레스를 고려한 설계가 필요하며, 특히 스위칭의 과도현상에 의한 변압기 코어와 구조물과의 절연에 주의가 필요하다.[3] 특히, 스위치의 턴 오프 시 극복해야할 항복전압이 높고 분할된 커패시터의 크기와 같으므로 스위칭 손실을 고려한 소자가 필요하며, 이에 대응가능한 토폴로지 설계가 요구된다. 그림 1은 전형적인 고압전용 SMPS를 나타내고 있다.

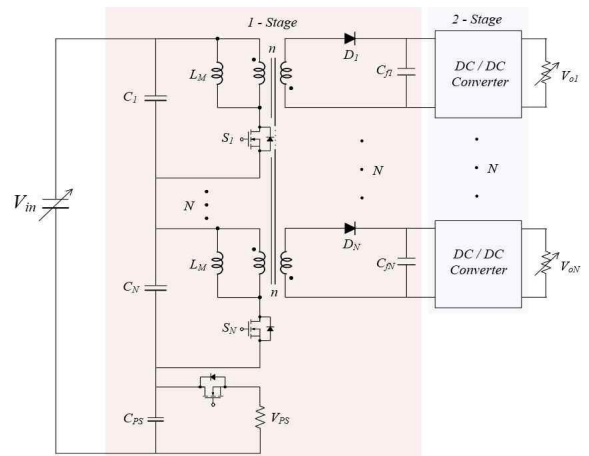


그림 1 전형적인 고압전용 SMPS  
Fig 1 Typical SMPS Topology for high voltage input

가변되는 고전압 입력에 N개 커패시터로 분압하고, 각 개폐시터 입력으로부터 고주파 절연변압기를 이용한 flyback방식의 전류제어방식 구조로 스위칭 소자의 스트레스가 높게 되는 한계점을 갖는다. 이를 극복하기 위해 콘덴서의 전압의 밸런싱을 위한 전압형 토폴로지를 선택함으로써 변압기 일체형으로 한쪽의 콘덴서의 전압이 높아지면 낮은쪽으로 전류가 더 많이 흐르도록 하여 콘덴서의 전압이 동일해 지도록 개선하였다.

또한 자체(자가)전원의 경우 큰 정전용량의 콘덴서를 사용하고 변압기의 턴수비를 조절하여 제어기의 전원으로 사용하도록 하고 모듈 내 커패시터의 고주파에 의한 전압변동과 초기 동작시에 안정적인 전원확립을 필요로 하며 모듈의 이상 유무와 모

들 내의 커패시터 전압정보의 통신과 스위치 소자의 구동드라이브의 전원으로 사용된다. 특히, 스위치의 손실과 온도에 직결되기 때문에, 구동 드라이버의 입력전압 정격전압으로 유지하고 부하의 변동에 일정한 전압을 제어하여 출력하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 방식은 1000[Vdc]입력전압의 안전성 유지하기 위한 토폴로지의 변화와 자속공유를 통한 각 컨버터를 위한 에너지공유(밸런싱)이며 항복전압의 제한에 극복, 입력 전압과 부하의 변동에도 동기화된 스위칭으로 밸런싱되는 구조를 제안한다. 또한 초기스위치의 구동전원의 용도로 낮은 전압이 항상 유지되어, 고전압 범위에도 안정적인 전압확립 할 수 있는 구조를 제안한다.

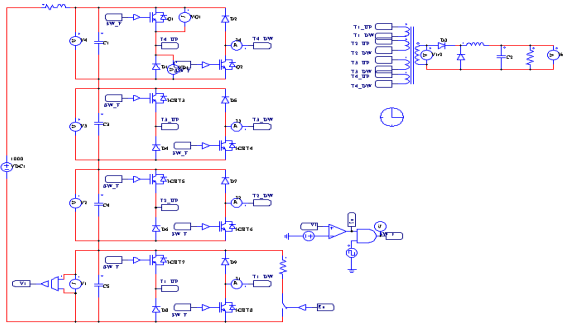


그림 2 제안된 고출력 SMPS토폴로지  
Fig 2 Proposed SMPS topology for high voltage input

그림 2는 제안하는 고압 SMPS 토폴로지를 나타내고 있으며, 가변되는 고전압 입력에 N개의 커패시터로 분압하고, 각 커패시터 입력으로부터 고주파 절연변압기를 이용한 2스위칭방식의 Half bridge를 구성하였다. 또한, 컨버터의 2 Block 방식으로 구분하고 나뉘어서 안정적인 구조를 유지하고 high Vlotage(입력)에서 Low Voltage(출력)으로 제어의 분해능을 높이고, 제어 및 보호메커니즘을 통한 고 신뢰성 시스템을 구현하기 위함이다.

식(1)은 Half bridge 컨버터의 입출력 비를 나타내며, 스위치에 흐르는 전류를 통해 계산할 수 있으며, 식 (2)는 스위치의 오프시에 1차측에 인가되는 전압이며, 이는 2차측에 의해 유지되는 전압과 입력전압의 합으로 나타낼 수 있다. 이는 스위치에 인가되는 스트레스를 반드시 확인해야 한다. 식 (2)로부터 변압기 턴 수비 및 스위칭 주파수의 듀티를 산출하며, 또한 변압기의 1차·2차측의 전류를 계산할 수 있다.

$$\left(\frac{N_2}{N_1} \cdot V_{c1} - V_o\right) \cdot DT = V_o(1-D) \cdot T \quad \text{식(1)}$$

$$V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot D \cdot V_s = \frac{1}{a} \cdot D \cdot V_s \quad \text{식(2)}$$

각각의 2스위칭방식의 Half bridge 컨버터는 단일코어에 권선이 감겨 있어, 입력 측 커패시터의 불균형이 발생하더라도, 상호간의 에너지 교환 작용을 통해 밸런싱이 유지되어 과다상태 및 정상상태 오차를 줄일 수 있다.

### 3. 시뮬레이션

#### 1.1 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 다중여자 방식의 고압SMPS를 검증하기 위한 시뮬레이션 회로도이다. 본 시뮬레이션은 입력 전압의 변동, 출력부하의 비대칭, 초기구동 전압 확립, 입력 커패시터의 오차의 조건에서 입력 커패시터의 밸런싱, 일정 출력전압 및 스위치 소자에 인가되는 전압 스트레스를 확인하기 위함이다. 또한 원칙적으로 같은 정전용량을 구성하지만 실제제품의 5% 제품오차로 10uF의 차이를 두고 있다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 나타내며, 각각의 조건에서도 입력 및 출력 전압이 밸런싱 됨을 보여준다.

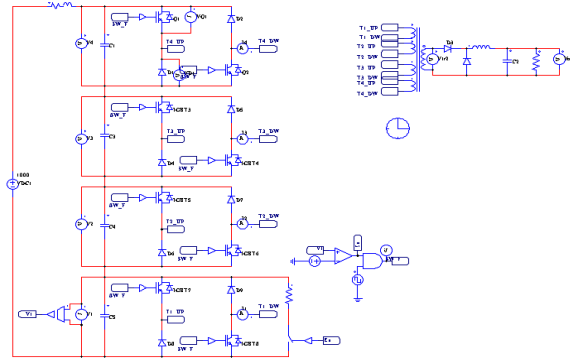


그림 3 컨버터의 시뮬레이션 회로도  
Fig 3 System with thyristor controlled shunt compensator

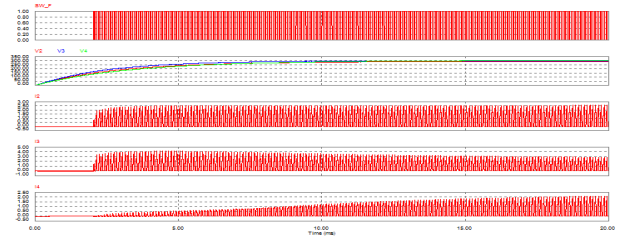


그림 4 컨버터의 시뮬레이션 파형특성  
Fig 4 Simulation charactic waveformss circuit of converter

## 4. 결론

본 논문에서는 본 논문에서는 고전압SMPS에 적용할 수 있는 다중여자 방식의 고전압용 Half bridge 컨버터 구조에 대해 제안하였다. 이는 입력의 전압의 변동, 출력부하의 비대칭, 초기구동 전압 확립, 입력 커패시터의 오차의 조건에서 입력 커패시터의 밸런싱, 일정 출력전압의 안정화와 고압스위치에 인가되는 전압 스트레스가 저감됨을 확인하였다. 이는 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] Palo Alto, "HVDC Grids for Integration of Renewable Power Sources," EPRI's HVDC & FACTS Conf, 2010.
- [2] 문지우, "불평형 전압 조건에 강인한 모듈형 멀티레벨 컨버터의 순환전류 억제기법", 2014.
- [3] 신민정, "다중여자방식의 고압SMPS설계", 2014.