

# 다중 여자 방식의 고압 SMPS 설계

신민정, 김춘성, 황정구, 박성준  
전남대학교

## Using the Multi-Excitation method, the high voltage SMPS design

Min Jeong Sin, Chun Sung Kim, Jung Goo Hwang, Sung Jun Park  
Chonnam National University

### ABSTRACT

본 논문은 DC DC 플라이백 컨버터 회로를 바탕으로, 고전압 입력으로부터 다채널의 절연된 저전압을 출력하는 고압 SMPS에 관한 것이다. 제안된 토폴로지는 고전압을 분배하는 커패시터와 MCU 전용의 커패시터를 직렬로 구성하고, 각 커패시터에 분배된 전압을 입력으로 다중여자 방식의 플라이백 컨버터 구조로 되어있다. 직렬 커패시터 구조는 고압환경에서의 소자들의 절연 및 전압스트레스를 저감할 수 있으며, MCU 전용의 커패시터는 시스템의 초기구동을 위한 자가충전(Self Power) 및 Black Start의 시스템 안정화 구조이다. 또한 다중여자방식은 변압기의 단일 코어를 사용하여 스위칭 전류를 흘려줌으로서 커패시터의 전압불균형을 막을 수 있는 장점을 가지고 있다. 제안된 토폴로지는 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 전력시장의 규제완화, 전 세계의 도시화 및 에너지수요량 증가로 인한 변화들은 전력산업에 크게 영향을 미치고 있다. 이는 신재생 에너지 중요성이 부각되고, 혁신적이고 고효율적인 전력송전의 해법이 요구되고 있다.<sup>[1]</sup> 현재 유럽의 슈퍼그리드와 같은 대용량 전력전송, 대규모 풍력단지의 계통연계는 전력시스템의 효율과 신뢰성을 향상시키기 위한 전력변환기의 투자와 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 멀티레벨 컨버터 분야의 MMC(Modular Multi level Converter)는 낮은 스위칭 주파수의 손실저감, 모듈구조의 시스템 확장성, 출력단의 필터용량 축소 등의 장점으로 인해 HVDC 시스템과 FACTS와 같은 고전압 전압형 컨버터에 적용되고 있다.<sup>[2]</sup>

일반적으로 MMC의 서브모듈은 스위치의 하프 브리지 방식과 풀 브리지 방식으로 구성되며, 커패시터와 병렬로 구성되어, 유효전력과 무효전력을 공급한다. 서브 모듈의 전압은 각 스위치 소자와 커패시터 및 부품들의 절연내력에 중요한 문제이며, 모듈내의 드라이버 및 컨트롤러의 전원은 모듈내의 커패시터로부터 자가 충전한다. 하지만 모듈내의 Self Power Supply 다음과 같은 기술적인 문제를 해결해야 한다.

넓은 고전압 입력범위에 따른 저전압 출력 스위치 소자 및 변압기의 전압 및 절연내력 구조적인 소형, 경량의 제약

본 논문에서는 MMC의 서브모듈의 초기구동 전압 형성의 어려움과 모듈내의 고전압과 리플로 인한 소자들의 전압 및 절연 내력을 저감할 수 있는 토폴로지를 제안하며, 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증한다.

### 2. 제안된 고압 SMPS Topology

일반적으로 고압 SMPS는 크게 절연변압기, 입력전압 Chopper 스위치 및 구동드라이버, 필터, 제어와 보호로 이루어져 있다. 1kV 이상의 고압 SMPS는 각 단위의 디바이스의 전압 스트레스를 고려한 설계가 필요하며, 특히 스위칭의 과도현상에 의한 변압기 코어와 구조물과의 절연에 주의가 필요하다. 기본적으로 스위치에 고전압이 인가되므로 항복전압이 높고, 스위칭 손실이 낮은 소자의 선택이 필수적이며, 또한 손실을 최소화 할 수 있는 하드웨어 토폴로지가 중요하다. 그림 1은 기본적인 고압형 SMPS를 나타내고 있다.

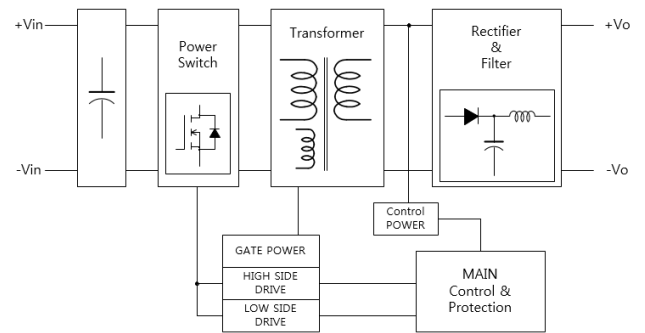


그림 1 기본 고압형 SMPS 토폴로지  
Fig. 1 Typical SMPS topology for high voltage input

특히, MMC에 적용되는 Self 파워 서플라이는 모듈 내 커패시터의 2고조파 입력 전압변동과 초기 수동충전(Passive Charging) 모드 시에 안정적인 전원확립이 이루어져야 한다. 또한 시스템 초기 운전 시 넓은 입력전압 범위와 정격의 dV/dt 내력에도 높은 신뢰성이 확보되어야 한다. SMPS의 출력전압은 대부분 모듈내의 스위치 소자의 구동 드라이버 전원과 통신 전원으로 사용되며, 상시 구동과 한시 구동으로 나누어진다. 한시적으로 사용될 때에는 MBS(Mechanical Bypass Switch)로 서브모듈을 바이패스 시키는 용도로 사용되며, 순간적으로 정격

이상의 출력이 요구된다. 상시 구동일 때에는 모듈의 이상 유무와 모듈 내의 커패시터 전압정보의 광통신과 스위치 소자의 구동드라이브의 전원으로 사용된다. 특히, 구동 드라이버의 입력전압은 스위치의 손실과 온도에 직결되기 때문에, 파워서플라이는 입력전압과 부하의 변동에 일정한 전압을 제어하여 출력하여야 한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 높은 입력전압의 한계와 각 디바이스의 항복전압의 제한에 자유로울 수 있는 구조, 입력전압과 부하의 변동에도 입·출력이 별다른 제어 없이 동기화된 스위칭으로 밸런싱되는 구조를 제안한다. 또한 초기 스위치의 구동전원의 용도로 낮은 전압이 항상 유지되어, 넓은 입력 범위에도 안정적인 제어전원을 확립할 수 있는 구조를 제안한다.

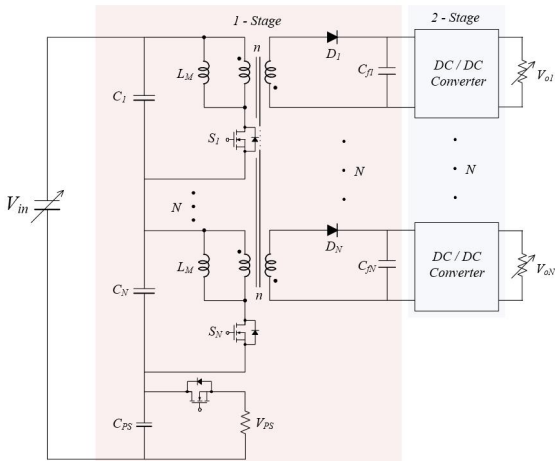


그림 2 제안하는 고압 SMPS 토폴로지  
Fig. 2 Proposed SMPS topology for high voltage input

그림 2는 제안하는 고압 SMPS 토폴로지를 나타내고 있으며, 가변되는 고전압 입력에 N개의 커패시터로 분압하고, 각 커패시터 입력으로부터 고주파 절연변압기를 이용한 flyback Converter를 구성하였다. 또한, DC/DC 컨버터의 2 Stage 방식은 고압부와 저압부로 나누어서 제어의 분해능을 높이고, 제어 및 보호메커니즘을 통한 고 신뢰성 시스템을 구현하기 위함이다. 식(1)은 flyback 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 수 비 및 스위칭 주파수의 듀티를 산출하며, 또한 변압기의 1차·2차 측의 전류를 계산할 수 있다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D}{n(1-D)} \quad (1)$$

$$V_{ms} = V_i + \frac{N_p}{N_s}(V_o + V_d) \quad (2)$$

$$D_{max} = \left( \frac{V_{(min)} - V_{ce}}{V_o + V_d} \cdot \frac{N_s}{N_p} + 1 \right)^{-1} \quad (3)$$

각각의 flyback 컨버터는 단일코어에 권선이 감겨 있어, 입력 측 커패시터의 불균형이 발생하더라도, 상호간의 에너지 교환 작용을 통해 밸런싱이 유지되어 과도상태 및 정상상태 오차

를 줄일 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 및 고찰

그림 3은 본 논문에서 제안하는 다중여자 방식의 고압 SMPS를 검증하기 위한 시뮬레이션 회로도이다. 본 시뮬레이션은 입력 전압의 변동, 출력부하의 비대칭, 초기구동 전압 확립, 입력 커패시턴스의 오차의 조건에서 입력 커패시터의 밸런싱, 일정 출력전압 및 스위치 소자에 인가되는 전압 스트레스를 확인하기 위함이다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 나타내며, 각각의 조건에서도 입력 및 출력 전압이 밸런싱 됨을 보여준다.

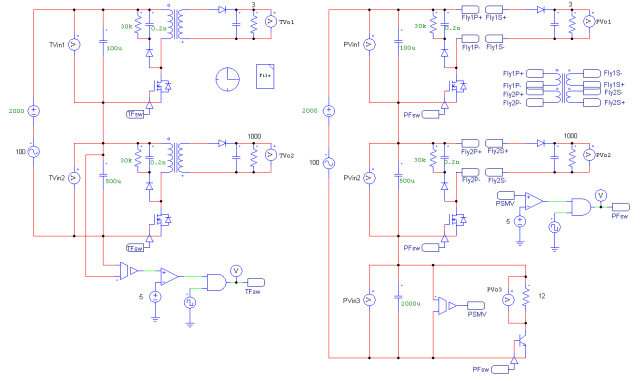


그림 3 시뮬레이션 회로도  
Fig. 3 system with thyristor controlled shunt compensator

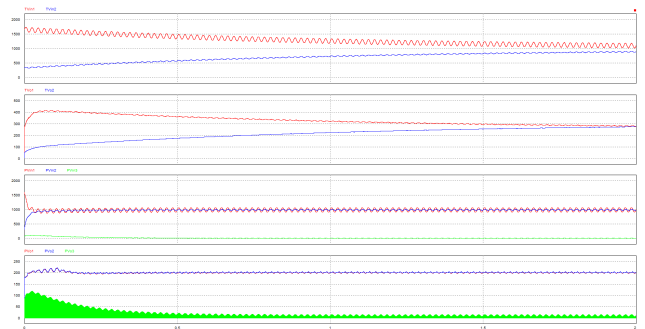


그림 4 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Results of simulation

### 4. 결론

본 논문에서는 MMC 내의 파워 서플라이에 적용할 수 있는 다중여자 방식의 고전압용 flyback 컨버터 구조에 대해 제안하였다. 이는 입력의 전압의 변동, 출력부하의 비대칭, 초기구동 전압 확립, 입력 커패시턴스의 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.