https://doi.org/10.21289/KSIC.2019.22.3.365

고전압 입력용 SMPS의 고효율 전략

High Efficiency Strategy of High Input Voltage SMPS

우동영[1], 박성미[2], 박성준[3*]
Dong-Young Woo[1], Seong-Mi Park[2], Sung-Jun Park[3*]

〈Abstract〉

Recently, the demonstration and research on the power transmission using high voltage DC such as HVDC(High Voltage DC), Smart Grid, DC transmission and distribution have been actively conducted. In order to control the power converter in high-voltage DC power transmission system, SMPS(Switching Modulation Power Supply) for power converter control using high-voltage DC input is essential. However, the demand for high-pressure SMPS is still low, so the development is not enough. In the low-output SMPS using the high-voltage input, it is difficult to achieve high efficiency due to the switching transient loss especially at light load. In this paper, we propose a new switching scheme for high power SMPS control for low output power. The proposed method can provide better efficiency increase effect in the light load region compared to the existing PWM method. To verify the feasibility of the proposed method, a 40 W SMPS for HVDC MMC(Modulation Multi-level Converter) was designed and verified by simulation.

Keywords : High-pressure SMPS, High-voltage DC, Power transmission system

1 주저자, 전남대학교 전기공학과, 박사수료
E-mail: blueinside1@gmail.com
2 한국승강기대학교 승강기공학부, 부교수
3* 교신저자, 전남대학교 전기공학과, 교수
E-mail: sjpark1@jnu.ac.kr

1 Main Author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam University, Ph.d. candidate
2 Dept. of Lift Engineering, Korea Lift College, Associate Professor
3* Corresponding Author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam University, Professor

1. 서 론

최근 에너지의 효율적 수급을 위해 AC 전력전송시스템에서 DC 전력전송 시스템으로 변화가 되고 있는 추세에 있다. DC 전력전송 시스템으로 연구가 활발히 이루어지고 있는 대표적인 분야는 HVDC(High Voltage DC), Smart Grid, 직류송배전 등 이다[1]-[3]. 이러한 고압 DC 전력전송시스템은 반도체장비인 전력변환기를 실장하고 있어 이를 구동하기 위한 고압 DC입력을 이용한 제어용 SMPS 장착이 필수적이다. 고압입력 전압으로 구동되는 SMPS(Switching Modulation Power Supply)는 높은 절연내력, 낮은 스위칭 주파수 구동 및 초기 기동을 위한 스타트 저항의 손실 등으로 고효율 SMPS 구현에 큰 걸림돌이 되고 있다. 특히 HVDC용 MMC(Modulation Multi-level Converter) 제어 전원용 SMPS는 넓은 입력전압 변동으로 정격 전압 시 낮은 시비율로 동작하므로 스위치 정격전류증대 및 높은 센서민감도로 인하여 제품단가 상승 및 제어의 어려움이 있다[4]-[6].

따라서 본 논문에서는 넓은 입력전압 변동범위에서 동작하는 저출력용 HVDC MMC 및 제어전원용 SMPS에 적합한 2단방식의 SMPS구조를 제안하고, 저출력용 고압 SMPS 제어를 위해 일정 에너지제어 관점에서 스위칭을 행하는 새로운 개념의 일정 에너지 스위칭 기법을 제안한다. 제안된 일정에너지 스위칭 기법은 SMPS의 부하에 관계없이 한 스위칭 손실은 거의 일정한 것이 특징이다. 이러한 스위칭 방식은 기존 전류제어를 행하는 PWM방식에서 경 부하 시 스위칭 과도손실로 인한 효율 저감을 개선할 수 있었다. 또한 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 3000 V HVDC MMC용 40 W SMPS를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 넓은 입력범위를 갖는 고압 SMPS

2.1 HVDC MMC용 SMPS의 특징

여러 개의 MMC를 직렬로 사용하는 직류 송배전용 전력변환기인 HVDC 시스템에서 MMC 전압의 변동 폭이 크게 나타나며, 시스템 보호를 위한 MMC제어에 적합한 맞춤식 SMPS 개발이 절실히 요구되고 있으며, MMC 모듈의 고압화에 따른 SMPS 고압화도 향후 필수적이라 사료된다.

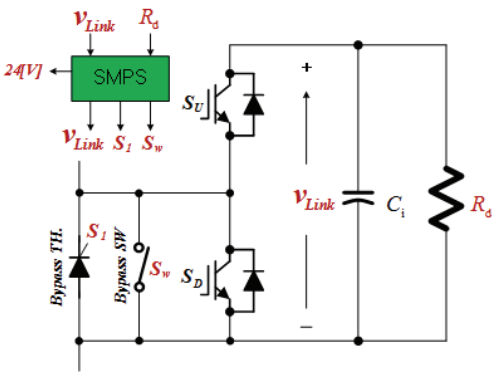


Fig. 1 Structure of MMC and role of SMPS

그림 1은 Half-bridge type MMC의 구조와 보조전원인 SMPS의 역할을 나타내고 있다. 현재 MMC의 전압은 고압화 추세에 있으며, 방전저항 R_d와 Bypass 사이리스트 및 기계적 스위치로 구성되어 있다. 또한, HVDC 주제어기는 직렬로 연결된 각 MMC의 전압 벨런싱 제어가 필수적이다. 따라서 각 MMC 전압 정보는 MMC에 장착된 SMPS에서 그 정보전달 기능을 내장하는 것이 바람직하다[5][6]. 그러나 안정적인 전압검출을 위해서는 상대적으로 낮은 전압검출저항을 사용하는 것이 바람직하나 SMPS의 효율 저감의 주요 원인이 되고 있다. MMC 방전저항(R_d)에 통상적으로

전체시스템 효율이 약 0.1~0.2 %저감되고 있는 실정이다. 따라서 방전저항과 초충회로 및 전압검출 회로를 SMPS에서 하이브리드화 한다면 시스템 효율 상승에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 주제어기나 통신두절로 인한 MMC 사고 시 Bypass를 위한 사이리스터 및 스위치 신호를 발생할 수 있는 알고리즘을 개발하여 대형 사고를 미연에 방지하는 기술이 내장되어야한다. [7].

2.2 넓은 입력범위를 갖는 고압SMPS 구조

넓은 고압 입력전압 변동으로 구동되는 HVDC MMC용 SMPS는 높은 절연내력으로 낮은 스위칭 주파수로 동작하며, 낮은 전압이득으로 인하여 낮은 시비율로 동작한다. 이러한 조건은 기존 Fly- back 컨버터를 사용하여 설계하기는 현실적으로 어려운 실정이다. 본 논문에서는 효율적 구동을 위해 입력전압이 변동해도 일정 출력전압을 출력하는 비절연형 감압컨버터를 이용하고 일정 입력전압으로 구동되는 일정 출력전압을 형성하는 절연형 Fly-back 컨버터를 사용하는 2단 방식의 전력변환기 개념도를 그림 2와 같이 제안한다.

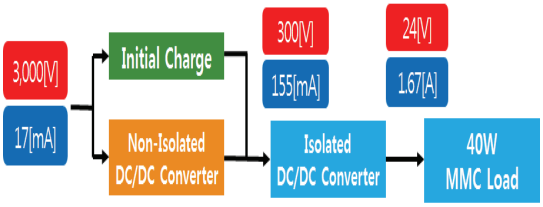


Fig. 2 High-pressure SMPS block diagram

그림 2에서 입력전압이 500 V에서 3,000 V가 변하더라도 출력전압은 300 V로 정전압을 유지하는 비절연형 감압컨버터를 사용한다. 절연형 Fly-back 컨버터는 300 V 정전압에서 24 V전압으로 제어하게 된다. 또한 초기 충전회로는 초기에만 동작하도록 한다.

그림 3은 제안된 고압용 SMPS의 파워부 토폴로지를 나타내고 있다. 감압용 비절연 컨버터는 일반적인 Buck 컨버터로 구성하였으며, 절연형 Fly-back 컨버터는 소프트 스위칭이 가능한 새로운 Fly-back 컨버터로 구성하였다.

2.3 일정 에너지 출력을 위한 스위칭 방식

그림 4는 비절연형으로 사용된 감압형 컨버터를 나타내고 있다. 본 컨버터의 연속모드에서 입

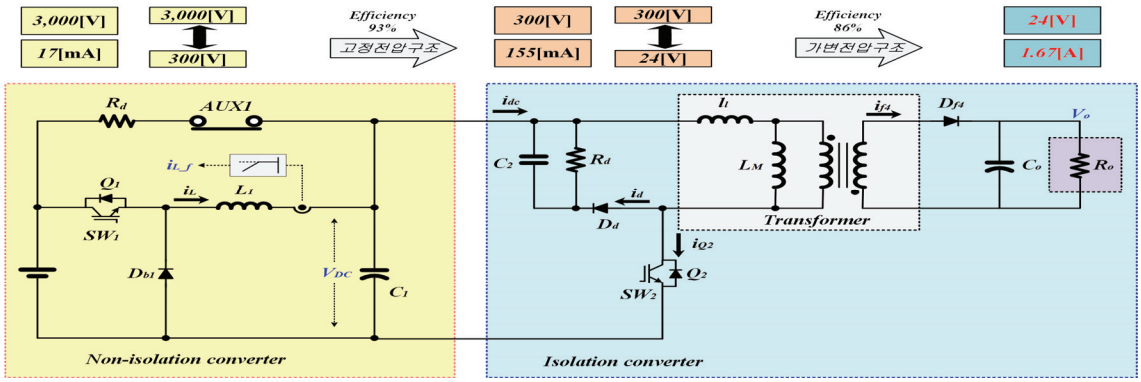


Fig. 3 Structure of MMC and role of SMPS

력전압 500 V~3,000 V에서 출력 전압 300 V로 유지하기 위해서는 시비율(d)이 0.6~0.1 이 되고, 약 46 W출력을 발생하기 위한 인덕터의 평균전류는 약 155 mA가 된다. 연속모드로 제어할 경우 연속모드 조건은 아래와 같다.

$$L_1 \geq TV_{dc}\frac{1-d}{2I_o} \tag{1}$$

식 (1)의 의해 인덕터를 산출할 경우 인덕턴스 값은 매우 큰 값이 된다. 컨버터는 큰 시정수를 갖게 되어 입력전압 또는 부하변동에 따른 안정적인 출력 유지에는 어려움이 있다. 또한 인덕터의 평균전류가 적은관계로 스위치소자의 과도손실은 전체손실에서 크게 나타나는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 컨버터를 불연속모드로 동작한다. 그림 4의 감압컨버터에서 불연속모드로 동작할 경우 스위치(Q_1)의 도통시간을 t_1이라하면 한 번의 스위치 온-오프시 입력측에서 전달되는 에너지는 아래와 같다.

$$w = \frac{1}{L_1}\int_0^{t_1} V_i(V_i - V_{DC})t\,dt \ \text{[joule]} \tag{2}$$

한 번의 스위칭 동작으로 식 (2)와 같은 에너지를 전달한다면 출력 전력은 아래와 같다.

$$P_o = \eta_1 w f_{\max}\text{[W]} \tag{3}$$

단, f_s: 스위칭 주파수, η_1: 감압컨버터 효율 입력전압과 출력전압이 일정하다고 가정하면 식 (2)로부터 입력측에서 일정 에너지를 전달하기 위한 스위치 온 시간은 아래와 같다.

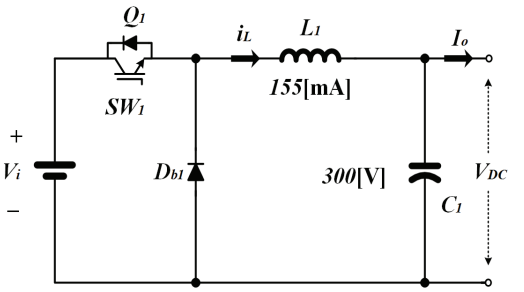


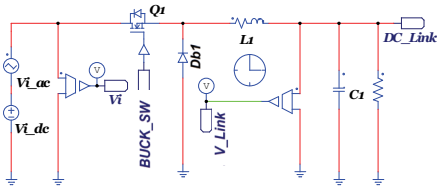
Fig. 4 Circuit of Pressure Reducing Converter

따라서 원하는 출력을 발생하기 위한 시비율은 아래와 같다.

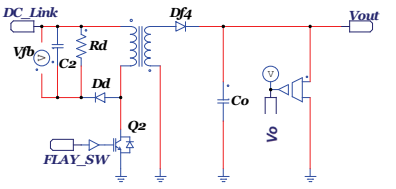
$$d = \sqrt{\frac{2L_1P_o}{\eta V_i(V_i - V_{DC})}f_{\max}} \tag{5}$$

3. 시뮬레이션 결과

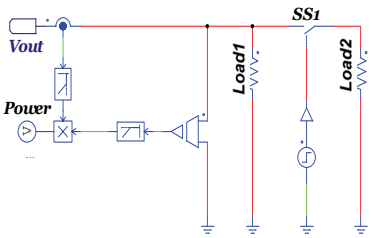
그림 5는 제안된 방식의 타당성을 검토하기 위한 시뮬레이션 회로도이다. 그림 5(a)는 일정 에너지 전달을 위한 비절연형 감압 컨버터를 나타내고 있고, 그림 5(b)는 절연형 Fly-back 컨버터를 나



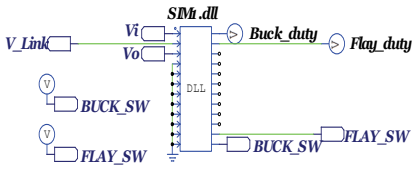
(a) Reducing Converter



(b) Fly-back Converter



(c) Load



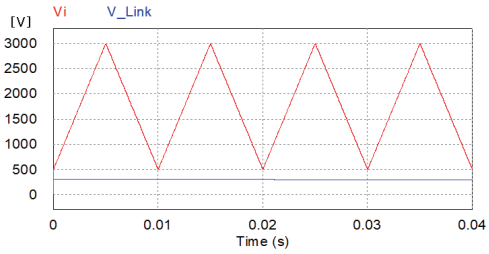
(d) DLL Controller

Fig. 5 Simulation circuit diagram of Proposed Method

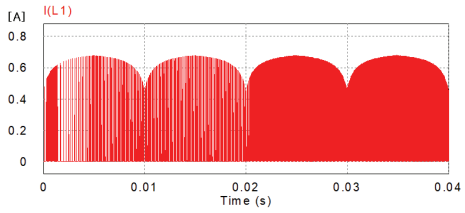
타내고 있으며, 그림 5(c)는 부하를 나타내고 있으며, 그림 5(d)는 본 논문에서 제안한 스위칭 알고리즘 구현을 위한 dll파일 제어기를 나타내고 있다.

그림 6은 시뮬레이션 결과로 그림 6(a)는 입력전압이 500 V에서 3000 V로 10 Hz로 변해도 비절연형 감압 컨버터의 출력은 300 V로 일정함을 알 수 있다. 입력전압 변동에 강인한 것이 제안된 스위칭 방식의 가장 큰 장점이다. 그림 6(b)는 비절현형 감압 컨버터의 인덕터 전류를 나타내고 있으며 입력 변동전압에 따라 일정에너지를 출력하기 위해 인덕터의 피크전류가 변함을 알 수 있다. 그림 6(c)는 기동시 24 W의 부하가 인가되고 기동 후 20 ms 후 48 W가 인가될 경우의 부하전류파형을 나타내고 있다.

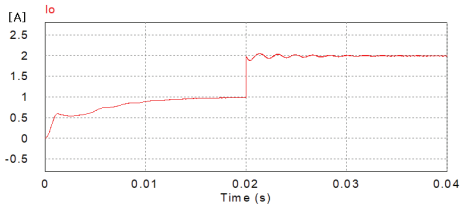
그림 6(d)는 출력전력과 출력전압을 나타내고



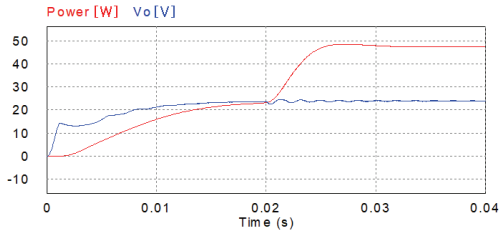
(a) Reducing Convter Output Volatege



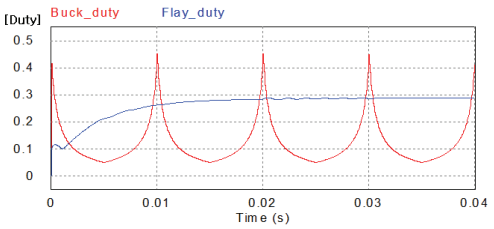
(b) Reducing Converter Inductor Current



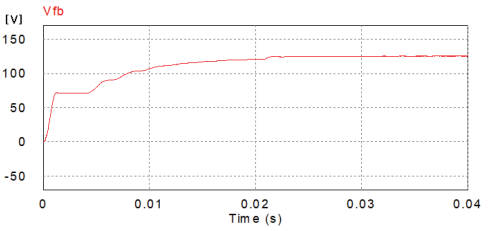
(c) Load Current with Load Change 24W to 48W



(d) Output Voltage with Output Power Change 20W to 40W



(e) Reducing Converter and Fly-Back Converter Duty



(f) Fly-back Converter RDC Snubber Voltage

Fig. 6 Simulation result of Proposed Method

있다. 출력이 20 W에서 40 W가 변화더라도 출력전압은 10 ms후 안정된 전압을 형성함을 알 수 있다. 그림 6(e)는 비절연형 감압컨버터와 절연형 Fly-back 컨버터의 스위칭 시비율을 나타내고 있다. 감압컨버터는 일정 에너지를 전달하기 위해 입력전압 변동에 따라 시비율이 0.05에서 0.45로 변하여 출력전압을 300 V로 안정적으로 형성하고, 절연형 Fly-back 컨버터는 정 전압입력에서 정전압 출력이 되도록 시비율이 변하게 된다. 그림 6(f)는 Fly-back 컨버터 RDC 스너버의 전압을 나타내고 있으며 전압은 약 120 V로 나타났다.

4. 결 론

본 논문은 넓은 입력전압 범위를 갖는 HVDC MMC용 제어전원용 SMPS에 적합한 감압 컨버터와 Fly-back 컨버터가 결합한 2단방식의 SMPS구조를 제안하고, 입력전압 변동에 강인한 일정 에너지를 출력할 수 있는 새로운 제어 스위칭 기법을 제안하였다. 제안된 방식 감압컨버터의 제어방식은 불연속 전류제어모드에서 일정 에너지를 출력할 수 있는 스위칭 방식이며 출력전압 제어는 출력전압을 검출하여 불연속 주파수 제어에 의해 행해진다. 시뮬레이션 결과 100 % 부하 변동 시에도 비절연형 감압컨버터의 출력전압은 변동이 없이 안정적으로 동작함을 알 수 있으며, 절연형 Fly-back 컨버터는 일정 입력 전압에서 일정출력 전압을 출력함으로 고효율화가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Junming Zhang, Xiucheng Huang, Xinke Wu, and Zhaoming Qian, “A high efficiency flyback converter with new active clamp technique,” IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 25, No. 7, pp. 1775-1785, (2010).

[2] Man Siu, Philip K. T. Mok, Ka Nang Leung, Yat-Hei Lam and Wing-Hung Ki, “A Voltage-Mode PWM Buck Regulator With End-Point Prediction,” IEEE Transaction on circuits and systems. Vol. 53, No. 4, pp. 294-298, (2006).

[3] D. H Seo, O. J. Lee, S. H. Lim, J. S. Park, “Asymmetrical PWM Fly back Converter,” IEEE PESC, pp. 848-852, (2000).

[4] Chun-Sung Kim, Seung-Hwan Jung, Jung-Goo Hwang, Seong-Mi Park, Sung-Jun Park, “Circulating Current Control in MMC-HVDC Considering Switching Device Current Capacity

under Unbalanced Voltage Conditions," The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 30, No. 1, pp.55-65, (2016)

[5] Hee-Won Yang, Seong-Ae Kim, Seong-Mi Park, Sung-Jun Park, "High Voltage SMPS Design based on Dual-Excitation Flyback Converter," The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 20, No. 2, pp115-124, (2017).

[6] Yeon-Joo Choi, Hee-Jun Kim, "A Study on the High Input Voltage SMPS for Driving Gate in MV Drive System," Proceedings of KIEE, Vol. 2017 No. 7. pp.1026-1027, (2017).

[7] Yeon-Joo Choi, Hee-Jun Kim, "A Study on the High Input Voltage SMPS for Driving Gate in MV Drive System," Proceedings of KIEE, Vol. 2017, No. 7, pp. 1026-1027, (2017).

(접수: 2019.04.06. 수정: 2019.05.01. 게재확정: 2019.06.03.)