

직·병렬 구조를 가지는 고압 DC 전원장치

이종주*, 정창용*, 백주원*, 유동욱*, 이영운*, 안창모*, 안호균**

*한국전기연구소, **창원대학교

High Voltage DC Power Supply having Serial-Parallel Structure

Jong-Ju Lee*, Chang-Yong Jeong*, Dong-Wook Yoo*, Young-Woon Lee*,
Chang-Mo Ahn*, Ho-Gyun Ahn**

*Korea Electrotechnology Research Institute, **Changwon University

ABSTRACT

본 논문은 대용량에 적합한 직·병렬 구조를 가지는 공진형 고압 DC 전원장치에 대한 것이다. 이 장치는 전력소자(IGBT)가 스위칭 할 때 발생하는 스위칭 손실과 EMI를 감소시키기 위해서 UC3879를 이용한 영전압 스위칭(ZVS; Zero Voltage Switching)방식을 채택하였고, 영전압 스위칭 위상차 제어 직렬 공진형(ZVS PCS-SRI; ZVS Phase Shifted Control Series Resonant Inverter)으로 동작시켜 고압변압기의 누설 인덕터와 기생 캐패시터를 이용하여 승압이 효과적으로 일어나도록 하였다. 또한 고압부는 입력과 출력부분이 각각 병렬과 직렬로 구성되어 있어서 각각의 모듈이 독립적인 ZVS가 일어나도록 하여 대용량화가 용의 하도록 하였다. 본 논문에서 10kV/60kW급의 대용량 고압 DC 전원 장치를 구성하여 이를 증명하였다.

1. 서론

고용량 DC 고압 전원장치의 경우 lasers, radars, communication systems 등 현재 많은 분야에 응용되고 있다. 특히 군사용이나 의료용 쪽으로 아주 광범위하게 사용되고있고, 수요 또한 증가하고 있다. 그러나 대용량 고압 DC 전원장치의 경우 system의 설계시 많은 문제점을 내포하고 있어 설계자마다 그 구조나 특성들이 서로 다르게 나타난다. 본 논문에서는 이러한 고용량 고압 DC 전원장치에 ZVS PCS-SRI를 적용시켜서 전체적인 효율을 증가시키고, 승압부분을 직·병렬구조로 만들어서 전체적인 구조를 단순화 시켰다.^[1]

2. 대용량 고압 직·병렬 직류 전원장치

본 논문에서 제안하는 대용량 고압 직·병렬 DC 전원장치구조는 그림 1과 같다. 본 장치는 3상 380V를 입력 전원으로 사용하였고, 3상 풀브릿지 정류를 하여 DC-link 전압을 생성하였다. 이 DC전압을 인버터 입력전압으로 사용하였고, 1200V/600A급 IGBT를 이용하여 단상 풀브릿지를 구성, 20kHz로 스위칭 하도록 설계했다. 인버터의 스위치들이 ZVS로 동작하도록 하여 스위칭 손실과 EMI문제를 최소화 시켰다. 또한 대용량을 실현하기 위해서 고압 변압기의 구조를 입력은 병렬로 출력은 직렬형태로 구성하였다. 고압 변압기의 출력은 전압 채배방식을 사용하여 두배로 승압하고, 이러한 변압기의 출력을 3개 직렬로 연결하여 전체 출력전압이 되도록 하였다. 이러한 구조를 사용한 이유는 3개의 고압 트랜스가 부하를 분담하고, 출력은 고압을 유지할 수 있도록 하기 위해서 이다. 또한 고압변압기의 설계를 일반적인 방법으로 단순화시킬 수 있다. 고압변압기의 2차측에서는 높은 전압을 발생시키기 위하여 많은 턴의 와이어를 감게되고, 또한 발생하는 고압의 절연을 위하여 절연거리를 크게 설정한다. 이렇게 되면 누설인덕턴스가 증가하게되고, 인버터 스위칭 주파수를 고주파로 하면 고압 변압기의 임피던스가 증가하게 된다. 이러한 임피던스를 활용해 승압에 이용하기 위해서는 보통 공진 회로를 추가하는데 본 논문에서 제시한 회로에도 이러한 공진 부분을 추가 시켰다.^[2]

2.1 ZVS PSC-SR 인버터^[3]

Hard-switching 경우 스위칭소자의 ON또 OFF시 기생 캐패시터와 누설 인덕터스에 의해 발생된 전압과 전류성분이 서로 교차하여 손실이 발생하게 된다. 이러한 손실은 고압 변압기와 인버터의 효율에 많은 영향을 미치는데, 이러한 스위칭의 손실을 없애기 위하여 본 논문에서는 soft-switching 방법을

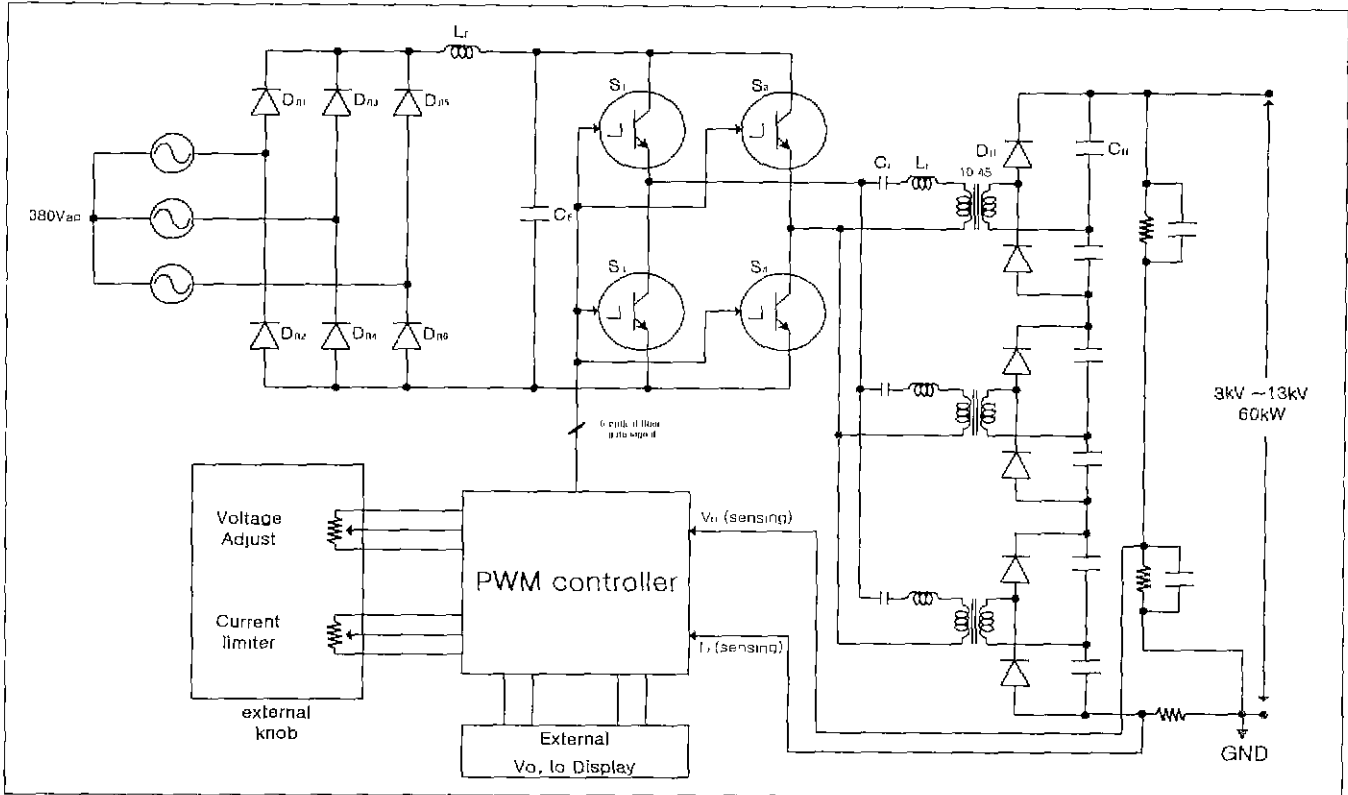


그림 1 대용량 고압 직·병렬 DC 전원장치의 구조

채택하였다. 본 논문에서 채택한 영전압 스위칭 방법은 전력소자가 턴온할때 영전압이 되도록 하여 스위칭손실을 감소시켜 고속 스위칭이 가능하게 하였고 효율을 높였다.

이와 더불어 soft-switching을 하면서 위상 전이각 ϕ 를 조절함으로써 출력 전압을 제어 할 수 있는데 이러한 방법을 위상전이 PWM 방식이라 한다. 그림 1은 위상전위 PWM 단상 전파 브릿지 인버터부분을 포함하고 있다. 그림 1에서 스위치 S1과 S4를 기준 스위치 단이라 하고 S2와 S3을 제어 스위치 단이라고 하면, S1과 S4를 고정시키고 S2와 S3의 위상을 가변 시켜 출력되는 전압의 조정할 수 있다.

2.2 고압 트랜스의 설계 및 출력단 구성

고주파 고압 트랜스의 설계는 전원장치를 구성하는데 가장 어려운 일이다. 그 이유는 다양한 파라미터가 존재하는데 반하여 정확한 설계공식이 존재하지 않아서 대부분 경험치에 의존하기 때문이다. 본 논문에서는 고압 트랜스 3개를 병렬 형태로 만들어서 트랜스하나에 대한 승압비를 낮추고, 트랜스에 걸리는 전력을 줄이므로 해서 트랜스 설계 방법을 일반적으로 사용하는 트랜스 설계 공식을 사용 가능하게 하였다. 또한 트랜스의 승압비와 전력이 줄어들므로 해서 고압 트랜스의 제작을 용이하게 하였다. 우선 코어를 선택하기 위하여 식(1)을 이용 Area

Product를 구한다. 고압 트랜스는 세 부분으로 나누어 출력에 전력을 전달하는 구조로 되어 되어있기 때문에 전체 출력이 60kW이므로 실제 하나의 고압 트랜스는 20kW가 걸리게 된다.

$$Ap = Ae \cdot Wc (cm^4) = \left(\frac{Pt \times 10^4}{K_f B_m f K_u K_f} \right)^x = 693.3 \quad (1)$$

$x = 1.16, \quad Pt = 20.2kW, \quad K_f = 4.44$
 $B_m = 0.2, \quad f = 20kHz, \quad K_u = 0.4, \quad K_f = 123$

식(1)를 바탕으로 본 논문에서 실험에 사용할 코어를 TDK사의 UU100으로 선정하였다. 이 코어의 $Wa = 34.2cm^2$ 이고 $Ae = 9cm^2$ 이다. 식(1)의 계산 값을 적용하여 사용할 코어의 수를 계산하면 2.252개가 나오는데 실제 전력 여유 분을 감안하여 실험에 사용한 코어의 수는 3개이다. 다음으로 고압 트랜스의 1차측 턴수와 2차측 턴수를 계산하여야 하는데 식(2)와 식(3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$N_p = \frac{E \times 10^4}{4.44 B_m f A_e} \quad (2)$$

$$N_s = \frac{N_p V_s}{V_p} \left(1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad (3)$$

식(2)와 식(3)으로 구한 1차측 턴수는 10턴이고, 2차 턴수는 45턴이다.

출력부는 그림 2처럼 다이오드와 콘덴서를 이용하여 2체배 회로를 구성하였다. 다이오드의 경우 출력 리플에 직접적인 영향이 있으므로 실제로 구성할 때에는 Tr이 가능한 작은 값을 가진 소자를 선택하는 것이 좋다. 본 논문의 실험에서 사용한 다이오드는 1200V/50A FRD를 사용하였고 다이오드를 직렬로 연결하여 모듈로 구성하였다

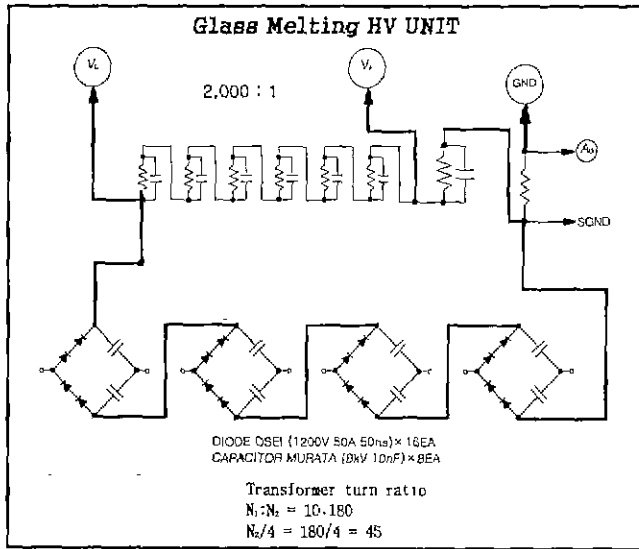


그림 2 고압 정류부 및 전압전류 센싱

2.3 출력전류 및 전압제어

본 논문에서는 전원의 안정된 동작을 위하여 전류와 전압을 제어하는 기능을 추가하였다. 이런 기능을 추가하기 위해서는 전류와 전압을 센싱 해와야 하는데 전류의 경우 고압출력부에 직렬로 저항을 넣어서 센싱하였고, 전압의 경우 출력에 병렬로 저항과 콘덴서를 넣어서 2000:1의 비율로 센싱하였다. 일차적으로 출력전류를 제어하기 위하여 전류제어기를 제어루프의 안쪽에 넣었다. 그림 2는 전압 및 전류의 센싱부분을 나타내고 있으며, 또한 그림 3은 전압 및 전류의 제어루프 블록도이다.

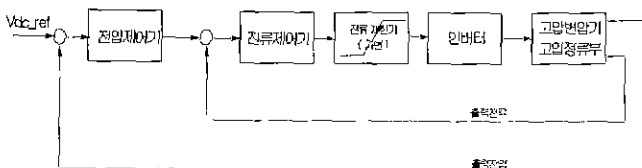


그림 3 전류 및 전압 제어기 블록도

2.4 제어기

제어기의 구성은 회로의 신뢰성을 위하여 unitrode사의 UC3879 IC를 사용하여 구성하였다. 전압 및

전류제어는 하나의 보드에서 구현하였으며, 전압 제어는 PI제어기로 구성하였고, 전류의 제어는 P제어기로 구성하였다. 전압제어기는 정상상태오차와 오버슈트가 없는 출력특성을 나타내도록 제어기 값을 구성하였다. 또한 UC3879의 출력을 광케이블로 연계하여 전체 시스템이 고압 노이즈에 안정하게 동작하도록 구성하였다.

3. 실험결과

본 논문에서 실험을 목적으로 제작된 장치는 최대 용량이 60kW인 DC 고압 전원장치이다. 실험에서는 부하용량을 10kV/25kW로 하여 실험하였다.

그림 4는 부하시 인버터의 출력 파형을 나타낸 것이다. CH1과 CH2는 인버터의 게이트로 보내지는 신호이고, CH3과 CH4는 인버터의 출력전압과 출력전류를 나타낸 것이다. 그림 5는 고압 트랜스포 입력되는 공진 전류이다. 그림에서 알 수 있듯이 각각의 모듈에서 아주 정확한 전력 분담이 일어나는 것을 알 수 있다. 그림 6과 그림 7은 무부하시 출력전압과 출력 리플전압을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 리플이 1%미만으로 양호한 것을 알 수 있다. 그림 8과 그림 9은 부하시 출력전압과 리플 전압을 나타낸 것인데 출력전압이 오버슈트없이 제어되는 것을 확인 할 수 있고, 전압리플 또한 2% 미만으로 양호하게 나타나는 것을 알 수 있다.

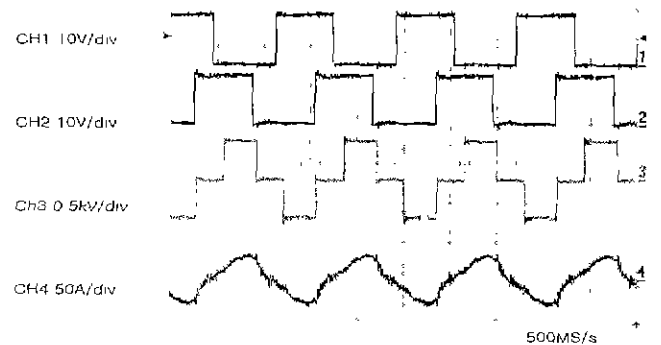


그림 4 인버터 출력 파형

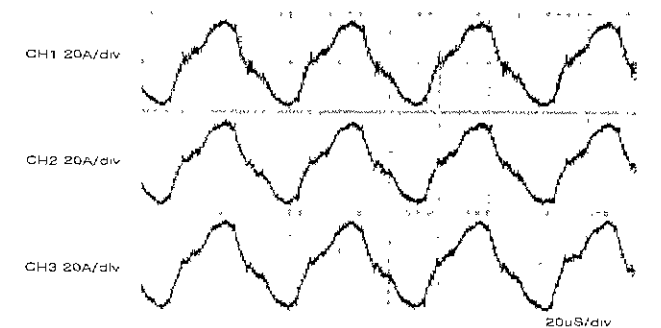


그림 5 각 모듈의 공진 전류

4. 결론

본 논문에서는 대용량 고압 직·병렬 DC 전원장치를 구성하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- UC3879로 제어기를 구성하여 저가격의 전원장치를 구성하였다.
- 단상 폴브릿지 인버터를 영전압 스위칭, 위상차 제어 직렬 공진형으로 동작시켜 스위칭 손실을 감소시켰다.
- 병렬로 연결된 고압 변압기의 입력 쪽은 각각의 모듈이 영전압 스위칭이 되도록 하였고, 출력부는 직렬로 연결하여 전력분담이 정확하게 일어나도록 하였다.
- 60kW급의 전원장치를 구성하여 1% 미만의 (25kW시에는 2%)저리플을 가지는 대용량 고압 출력부를 구성하였다.
- 고압 트랜스와 그 출력 부분을 직·병렬 형태로 구성함으로써 대용량 고압 DC 전원장치의 구성을 용이하게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Igor A. Krichtafovitch and Irina.Z. Sinitsyna. "Multi-Output Modular High_Voltage Power Supplies for Airborne and Space Applications" IEEE pp577-581, 1996
- [2]Darius DEDECIUS, Florentt ANDRINANEOLISON. Yvon CHERON "A Series Resonant DC/DC Converter Operating in ZVS Mode form Maximum Power To No load" EPE'97 pp4.443-4.447
- [3] Marcelo Brunorn and Jose Luiz F. Vieira "A High-Performance ZVS Full-Bridge DC-DC 0-50-V/0-10-A Power Supply With Phase-Shift Control" IEEE transactions pp295-505, 1999

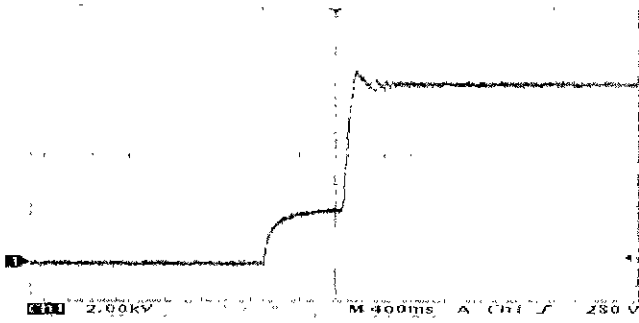


그림 6 무부하시 출력전압

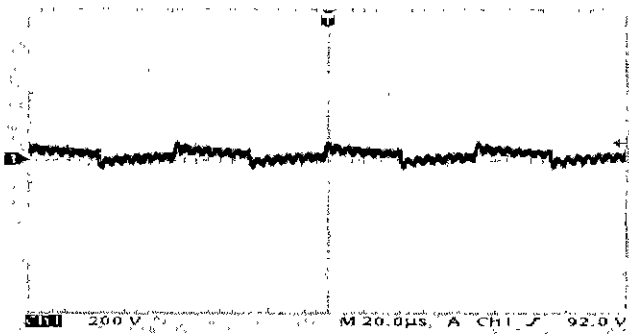


그림 7 무부하시 리플전압

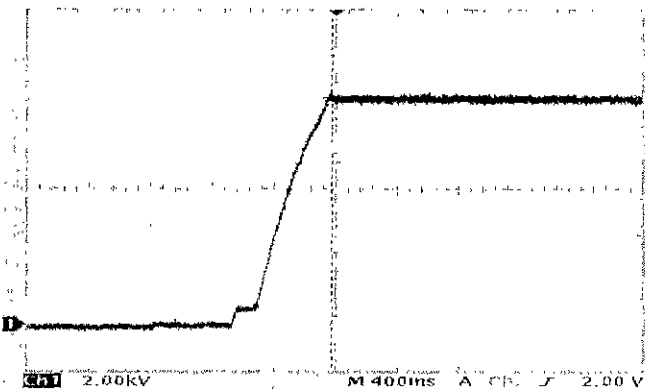


그림 8 부하시 출력전압

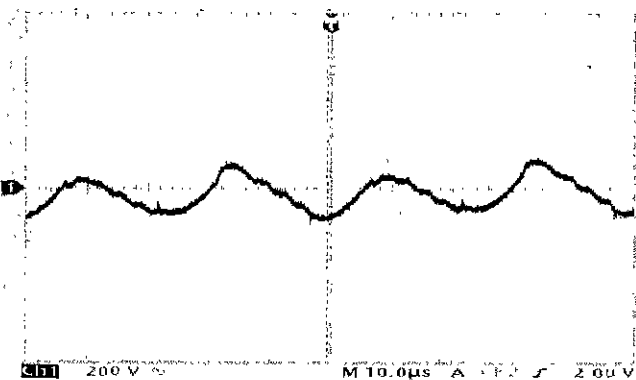


그림 9 부하시 출력 리플전압