

10KVA 급 직병렬 보상형 무정전 전원 장치

전 성준, 조규형  
부경대학교, 한국과학기술원

10KVA Series-parallel compensated UPS

Seong-Jeub Jeon, Gyu-Hyeong Cho  
Pukyong National University, Korea Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract** - In this paper a development of 10KVA series-parallel compensated UPS is shown, which has high input power factor and sinusoidal output voltage regulation capability. Compared to conventional cascaded UPS, the size can be reduced significantly with high quality input and output waveforms. The front converter and the main inverter can be considered decoupled, hence the front converter and the main inverter can be designed independent of each other. In this paper, analysis and experimental results for an 10 KVA prototype are presented.

1. 서 론

UPS를 전력변환장치의 접속면에서 분류하면 그림 1에서와 같이 직병렬보상형, 종속접속형, 병렬보상형으로 나눌 수 있다. 최근에 연구되는 그림 1-(a)와 같은 직병렬 구조의 UPS는 뛰어난 입출력 특성을 가지고 있으며 용량대비 무게면에서 우수하다[1,2].

그림 1-(b)와 같이 컨버터와 인버터가 종속접속된 기존의 UPS와 비교하면 전단 컨버터의 크기가 작으며 정상동작시에 주인버터가 취급하는 전력이 작다. 그림 1-(c)와 같은 병렬동작 UPS(parallel processing UPS)도 크기가 작다. 그러나 병렬동작 UPS에서는 전원측을 제어하여 고역률을 얻거나 고조파를 제거하면 출력전압을 제어하는 능력이 없어지고, 출력전압을 제어하면 고역률을 유지할 수 없고 고조파 제어도 어렵다 [6-10]. 본 논문은 [10]에서 부하단에 출력변압기를 설치한 것과 출력을 높인 것이 다르며 병렬요소의 전류 제어 방식이 약간 다르다.

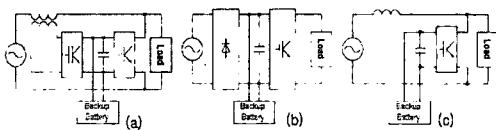


그림 1 UPS의 구조: (a) 직병렬 보상형 UPS, (b) 종속접속 UPS, (c) 병렬처리 UPS  
Fig. 1 Structures of UPS's: (a) Series-parallel compensated UPS, (b) Conventional cascaded UPS, (c) Parallel processing UPS

2. 시스템의 동작

본 논문에 설계한 직병렬 UPS는 그림 2와 같이 전단 컨버터는 반브릿지로 구성되어 있고 주인버터는 전브릿지로 구성되어 있다. 동작은 크게 바이패스 모드와 백업 모드로 나누어 설명할 수 있다. 바이패스 모드에서 전단

컨버터는 고역률을 위해 전원전류가 전원전압과 동상이 되도록 제어되고 그 크기로 DC 링크전압을 제어한다. 주인버터는 출력전압을 일정한 크기를 갖고 입력전압과 동상의 정현파가 되도록 제어된다. 부하에 필요한 대부분의 전력은 전원에서 부하로 공급되고 일부가 입출력전압의 차에 따라 전단컨버터와 주인버터를 통하여 흐른다. 백업 모드에서 전단컨버터는 차단되고 주인버터는 바이패스 때와 동일하게 출력전압이 일정한 크기를 갖도록 제어한다. 이 때 전력은 백업 배터리로부터 공급을 받는다. 동작모드의 전환은 단지 전단 컨버터의 온-오프만으로 이루어지고 주인버터는 동작모드와는 관계없이 항상 동일하게 동작한다. 배터리 충전은 별도의 충전장치 없이 바이패스 모드에서 전원전류를 제어하여 이루어진다.

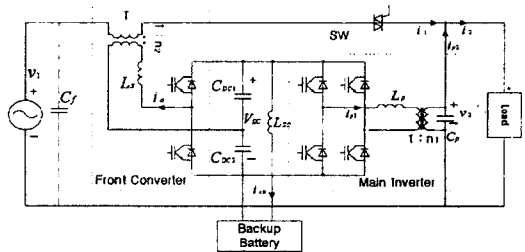


그림 2 설계된 UPS 회로도  
Fig. 2 Detailed circuit diagram of the designed UPS

2.1 전력의 흐름

이 시스템이 바이패스 모드로 동작할 때의 전압·전류들은 그림 3에서와 같은 관계를 갖는다. 부하전력을 식 (1)과 같이 두자.

$$S_L = P_L + jQ_L \quad (1)$$

출력전력과 입력전력이 같아지는 정상상태에서 손실을 무시하면 전원에서 전단컨버터로 유입되는 전력은 다음과 같다.

$$S_a = (V_1 - V_2) I_1^* = P_L \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \quad (2)$$

만일  $V_1$ 과  $V_2$ 가 동상이 아니면 무효전력이 추가되어 전단컨버터가 처리하는 전력  $|S_a|$ 이 증가하게 된다.

주인버터에서 부하에 전달되는 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$S_b = S_L - V_2 I_1^* = P_L \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) + jQ_L \quad (3)$$

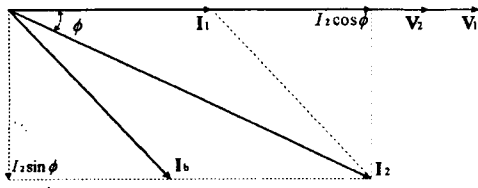
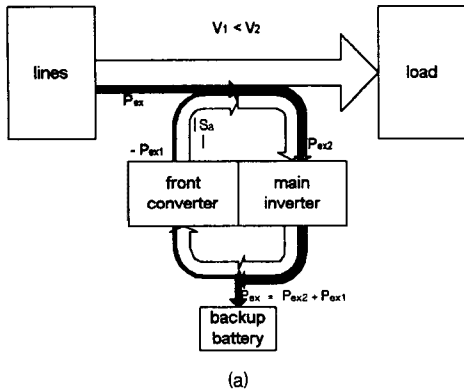


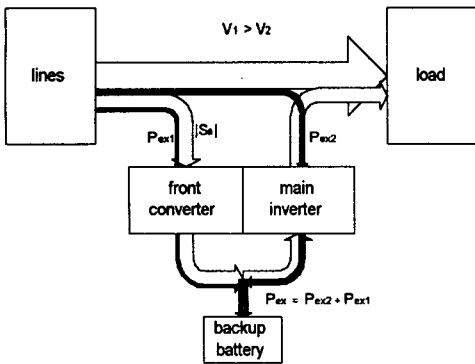
그림 3 페이저도  
Fig. 3 Phasor diagram

전력은 전원전압이 부하전압보다 낮으면 그림4-(a)에서 흰 화살표와 같이 흐르고 전력은 전원전압이 부하전압보다 높으면 그림4-(b)에서 흰 화살표와 같이 흐른다. 저압차를 보상하는 보상전력이 전단컨버터와 주인버터 사이를 순환한다.

식 (2)에 따라 전단컨버터에서 처리하는 전력을 그려 보면 그림 5-(a)와 같다. 식 (3)에 따라 주인버터에서 처리하는 전력을 그려보면 그림 5-(b)와 같다. 부하역률이 좋을 때는 극히 일부의 전력만 처리하여 운전효율을 높일 수 있다. 취급하는 전력이 작으므로 효율을 높일 수 있다.

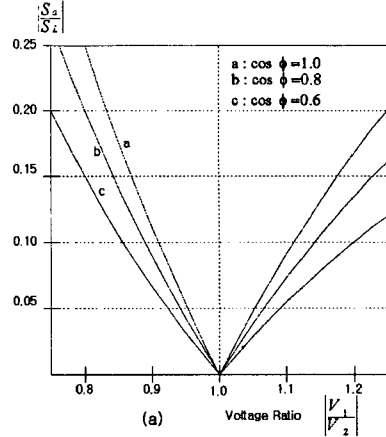


(a)

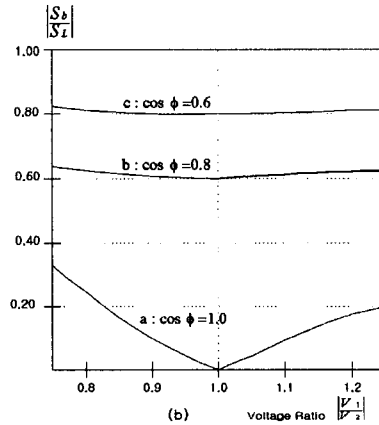


(b)

그림 4 전력의 흐름도: (a) 전원전압이 낮은 경우, (b) 전원전압이 높은 경우  
Fig. 4 Power flow: (a) When input voltage is low, (b) When input voltage is high



(a)



(b)

그림 5 각 전력변환장치에서 처리되는 전력: (a) 전단컨버터에서 처리되는 전력, (b) 주인버터에서 처리되는 전력

Fig. 5 Power handled by the system: (a) Power handled by the front converter, (b) Power handled by the main inverter

## 2.2 배터리충전

직병렬구조의 UPS에서는 바이패스 모드로 동작할 때에는 전단컨버터와 주인버터의 협조 동작으로 배터리충전이 이루어지고 배터리충전은 2.1에서 주어진 전류보다 큰 전류를 흘려줌으로서 이루어진다. 이 경우 식 (4)로 주어진 초과전력  $P_{ex}$ 가 배터리로 흐르게 되고, 충전전류  $I_{ch}$ 는 식 (5)으로 주어지고 필요한 값은  $I_1$ 을 조정하여 얻을 수 있다.

$$P_{ex} = \text{Re}(S_a) - \text{Re}(S_b) = V_1 I_1 - P_L \quad (4)$$

$$I_{ch} = \frac{P_{ex}}{V_{DC}} = \frac{V_1 I_1 - P_L}{V_{DC}} \quad (5)$$

충전전력의 흐름은 그림4에서 회색으로 표시된 화살표와 같이 흐른다.

### 3. 시스템의 제어

시스템이 정상적으로 동작하면 전단컨버터는 전원과 부하 사이에 직렬접속된 정현파 전류원으로 볼 수 있으며 후단인버터는 정현파 전압원으로 볼 수 있고 각각은 독립적으로 운전할 수 있다.

#### 3.1 전원전류의 제어

전원 전류는 그림 6과 같이 동작하는 히스테리시스 제어기로 제어된다. 히스테리시스 전류제어기는 응답특성이 매우 빠르고 과전류 보호기능을 가지고 있다.

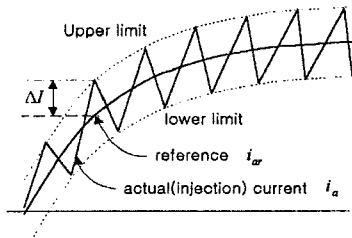


그림 6 주입전류  $i_a$ 의 파형  
Fig. 6 Waveform of the injection current

#### 3.2 병렬요소의 전류제어

주인버터는 전단컨버터와는 달리 전브릿지로 구성하였다. 전브릿지에서는 bipolar switching과 unipolar switching의 2 가지 방법의 PWM이 가능하다. unipolar PWM이 bipolar PWM보다 낮은 스위칭으로도 우수한 고조파특성을 얻을 수 있다고 알려져 있다 [11]. 그러나 전류제어형 PWM에서 unipolar switching 방식을 사용하면 영전압 근처에서 제어가 불량해지므로 그림 7과 같이 영전압 근처에서는 hybrid switching을 그 외에서는 unipolar switching을 사용하였다. hybrid switching은 bipolar switching과도 약간의 차이가 있다. hybrid switching이란 unipolar switching을 하다가 일정 시간이 지나도 switch transition이 일어나지 않으면 반대방향으로 스위칭을 하는 것을 말한다.

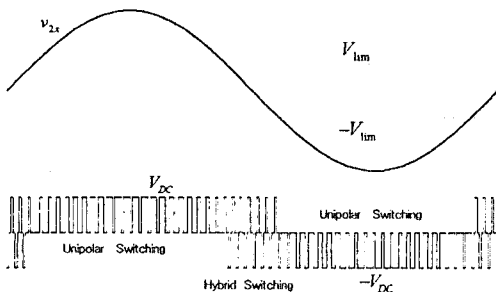


그림 7 스위칭모드의 선택  
Fig. 7 Selection of switching modes

### 4. 실험 결과

본 제안의 타당성을 확인하기 위하여 10 kVA 시작품을 제작하여 시험하였다. 표 1에 시작품의 주요회로 정수를 나타내었다. 선형부하에서의 전력변환 효율은 93%로 기존의 종속접속형 UPS에 비해 매우 높게 나타났다. 그림 8은 비선형 부하에 대한 실험결과로 부하 전류가 정현파에서 벗어났으나 부하전압과 전원전류는 정현파를 유지하고 있음을 보여준다. 전원전류의 고조파 함유율(THD)은 5%이고, 입력역률은 99.5%로 측정되었다. 그림 9는 정전으로 인하여 제어모드가 백업모드로 바뀌었다가 다시 바이패스 모드로 돌아오는 동작을 보여준다. 정전이 되어 제어모드가 바뀌어도 출력전압은 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그림 10은 부하변동에 대한 응답을 보여준다. 출력전압이 부하의 변동에 영향을 받지 않음을 확인할 수 있다.

표 4-1 회로정수

Table 4-1 Circuit parameters

Ls	125uH	rated AC voltage	220V
Lp	250uH	rated current	45.5A
Cp	60uF	rated DC-link voltage	192V
Cf	15uF	Turn ratio of $T_M$	1: 2.2
CDC1, CDC1	13600uF	Turn ratio of $T_A$	1:1.5

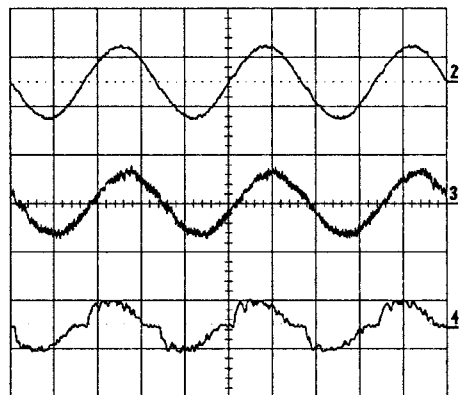


그림 8 동작 파형들: 부하전압 (상: 500[V/div]), 전원전류 (중: 50[A/div]), 부하전류 (하: 50[A/div]), 시간축 : 5[msec/div]  
Fig. 8 Input and output waveforms: load voltage (top: 400[V/div]), line current (middle: 50[A/div]), load current (bottom: 50[A/div]), time base : 5[msec/div]

### 3. 결 론

본 논문에서는 10KVA급 직병렬 보상형 UPS의 개발 내용이 제시되었다. 이 UPS는 비선형부하에 대하여도 고입력역률을 유지하면서 높은 동작효율을 보여준다. 또한 기존의 종속접속 UPS에 비해 전력부의 크기를 줄일 수가 있었다. 직병렬보상형의 UPS는 엄격해지는 전기 환경에도 적합한 형태로 이 분야에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] S.J. Jeon and G.H. Cho, "A Series-Parallel Compensated Uninterruptible Power Supply with Sinusoidal Input Current and Sinusoidal Output Voltage", IEEE, PESC '97 record, pp.297-303, 1997
- [2] F. Kamran and T.G. Habetler, "A Novel On-Line UPS with Universal Filtering Capabilities", IEEE Trans. Power Electronics, vol.13, no.3, pp.410-418, May 1998
- [3] L. Gyugyi, "Unified power-flow control concept for flexible AC transmission systems", IEE PROC. pt. C, Vol. 139, No. 4, pp.323-331, July 1992
- [4] H. Fujita and H. Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series Active Filters and Shunt Active Filters", IEEE, PESC'96 record, pp.494-501, 1996
- [5] S. Moran, "A Line Voltage Regulator/Conditioner for Harmonic Sensitive Load Isolation", IEEE IAS 24th annual meeting, pp.947-951, 1989
- [6] G. Ioannidis, et al., "A Novel Uninterruptible Power Supply System with Sinusoidal Input-Output Characteristic and Simplified Control Circuit", IEE EPE '95 record vol. 2, pp.351-356, 1995
- [7] H. L. Jou, et al., "A New Parallel Processing UPS with the Performance of Harmonic Suppression and reactive Power Compensation", IEEE PESC '94 record, pp.1443-1450, 1994
- [8] Y. Lin, G. Joos, and J.F. Lindsay, "Performance Analysis of Parallel Processing UPS Systems," IEEE APEC '93 record, pp.533-539, 1993
- [9] 전성준, "역률개선과 고조파보상기능을 가진 단상 무정전 전원장치", 부경대학교 논문집 제2권, 제2호, pp.117-126, 1997
- [10] 전성준, 조규형 "실용적인 직병렬 구조의 무정전 전원장치", 대한전기학회 논문집 Vol.48B, No.6, pp.322-320, 1999
- [11] N. Mohan, et al, Power Electronics, Wiley, pp.358-363, 1995

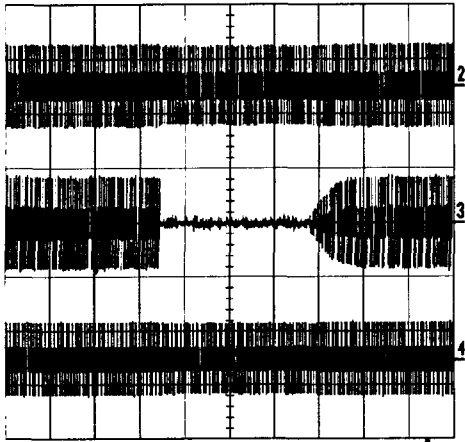


그림 9 모드의 전환: 부하전압 (상: 400[V/div]), 전원전류 (중: 50[A/div]), 부하전류 (하: 50[A/div]), 시간축 : 1[sec/div]  
 Fig. 9 Change of modes: load voltage (top: 400[V/div]), line current (middle: 50[A/div]), load current (bottom: 50[A/div]), time base : 1[sec/div]

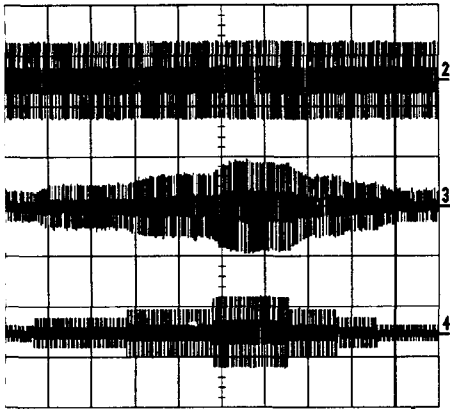


그림 10 부하변동에 대한 응답: 부하전압 (상: 400[V/div]), 전원전류 (중: 50[A/div]), 부하전류 (하: 50[A/div]), 시간축 : 1[sec/div]  
 Fig. 10 Response to step load change: load voltage (top: 400[V/div]), line current (middle: 50[A/div]), load current (bottom: 50[A/div]), time base : 1[sec/div]