

## Line - Interactive UPS의 역할 개선 방안에 관한 연구

장 훈, 이우철, 이택기\*, 현동석  
 한양대학교, \*한경대학교

### A Study on the Line-Interactive UPS with Power Factor correction

Hoon Jang, Woo-Cheol Lee, Taeck-Kie Lee\*, and Dong-Seok Hyun  
 Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ.  
 Dept. of Electrical Engineering, Hankyong Univ\*.

#### ABSTRACT

This paper proposed on the Line-Interactive UPS with power factor correction. The paper Line-Interactive UPS topology with its advantages is reviewed. Next introduces Line-Interactive UPS of the series active compensator. The series active compensator controls input currents and power factor.

#### 1. 서 론

전원 공급에서 정전이 없도록 하는 장치로 개발된 UPS는 정전 시 보상 특성을 갖는다. 즉 전원 정전 시 자체적으로 전원을 공급하는 기능을 한다. 또한 UPS는 전원 품질 향상에도 도움을 준다.<sup>[1]</sup> 실제 UPS는 컴퓨터의 대중화가 이루어진 1970년대 이후로 보급되기 시작했다. 처음 개발된 UPS는 On-Line UPS로 Double Conversion 방식으로 운전된다. Double Conversion 방식이란 정상적인 교류 입력 전원을 공급받아 내장된 배터리 충전 및 인버터를 상시 동작 시켜서 비상시에 무순단으로 전력을 공급하는 방식이다. Double Conversion 방식은 입력 전압의 변동에 관계없이 출력 전압을 일정하게 공급하며 입력의 서지, 노이즈 등을 차단하여 출력 전원을 공급하는 장점을 갖는다. 그러나 효율이 낮고 대체로 가격이 비싼 단점을 갖는다.<sup>[2]</sup>

이후 이점을 개선하기 위해 1980년대엔 Off-Line UPS가 개발되었다. Off-Line UPS 중 보통 Passive-Standby 방식이 사용되었다. 이 방식의 장점은 전원의 불필요한 변환을 하지 않아도 된다는 것이다. 정상 시 교류 입력 전원을 사용하다가 정전이 되거나 입력 전원이 허용치 보다 낮을 경우에 인버터(UPS)를 사용하는 방식이다. 그러나 정전

시에 스위치를 통해 전원단에서 UPS로 연결되므로 절체 타임이라 불리는 순간적인 전원의 끊어짐이 발생한다. 또한 입력의 변화에 출력이 변화하며, 입력 전원과 동기가 되지 않는 단점을 갖는다.

1990년대 들어선 Off-Line UPS를 좀더 효율적으로 사용할 수 있는 새로운 방식이 등장하였다. 그 획기적인 UPS를 Line-Interactive UPS라 부른다. Line-Interactive UPS는 Off-Line 방식처럼 전원과 부하가 직접 연결되어 있으므로 정상 전원시 불필요한 전력의 변화가 없어 에너지 손실이 적은 장점을 갖는다. 그러나 상대적으로 입력 전압의 변화에 대해 입력 전류가 변하는 큰 단점을 갖는다.<sup>[3]</sup>

본 논문에선 이러한 역할 개선 방안으로 입력단에 능동 보상기를 직렬로 설치하였다. 직렬로 설치한 능동 보상기는 Line-Interactive UPS의 전류 제어와 역할 보상 그리고 DC Link 전압 제어 기능을 수행한다.

#### 2. Line - Interactive UPS

Line-Interactive UPS는 그림 1에서 보듯이 스테틱 스위치, 초크 코일, 4상한 인버터, 배터리로 구성된다. 정상 운전 시 스테틱 스위치는 닫혀있고 전력은 메인 전원에서 직접 부하로 공급되어진다. 즉, Double Conversion 방식과 비교해서 정상 전원 시 전력의 변환이 없기 때문에 그 만큼의 손실이 줄어들 수 있음을 뜻하는 것이다. 정전 시에는 스테틱 스위치가 열려 주 전력을 끊는다. 그 후 배터리에서 부하로 전력을 공급한다. 주 전원이 회복되면 스테틱 스위치는 다시 닫히고 부하는 정상 시처럼 전원 전력을 공급받는다. 동시에 인버터는 정류기로 동작하여 배터리를 충전시킨다. 즉, Double-Conversion 방식과 비교해서 매우 간단한 구조로 구성되며 동작 역시 매우 간단하다. 또한 과형 역

시 깨끗한 정현파를 얻을 수 있다. 그러나 상대적으로 입력 전압의 변화에 대해 입력 전류가 변하는 큰 단점을 가지고 있다.<sup>[3]</sup>

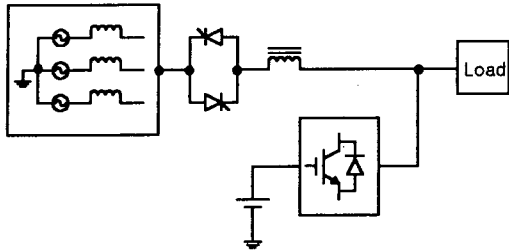


그림 1 라인 인터랙티브 UPS  
Fig. 1 Line-Interactive UPS

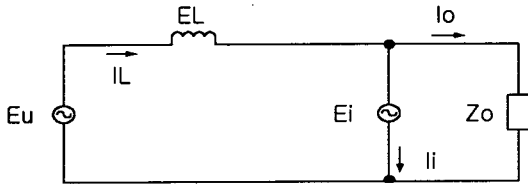


그림 2 라인 인터랙티브 UPS의 단상 등가회로  
Fig. 2 Single phase equivalent circuits of Line Interactive UPS

그림 2는 Line-Interactive UPS의 등가회로를 보였고 이 등가회로는 수식 (1), (2)처럼 나타낼 수 있다. 수식 (2)에서 보듯이 입력 전압의 변화는 입력 전류를 직접적으로 변화시키게 된다. 즉, 역률이 매우 나빠지게 된다.<sup>[3]</sup>

$$E_L = j\omega L * I_L \quad (1)$$

$$I_L = \frac{E_L}{j\omega L} = \frac{(E_u - E_i)}{j\omega L} \quad (2)$$

실제 Line-Interactive UPS는 그림 3(a)에서처럼 정상 전압일 경우는 입력 전압에 대해 입력 전류는 동상이다. 그것을 페이저 다이어그램으로 나타냈고 그림 3(b)에서 시뮬레이션 파형으로 보였다.

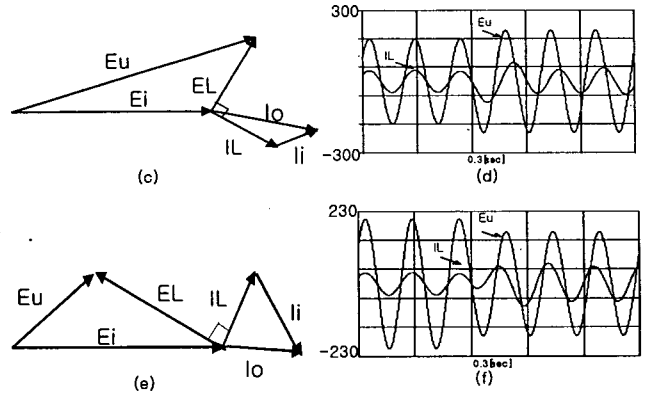
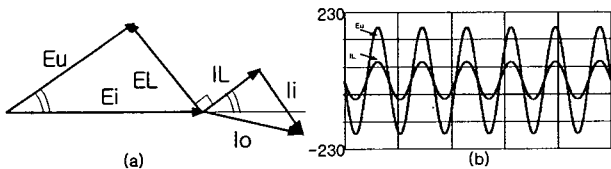


그림 3 라인 인터랙티브 UPS의 페이저 다이어그램과 시뮬레이션 파형  
(a)(b) 정상 전원 시  
(c)(d) t=0.3[sec]에서 1.2배의 과전압 인가 시  
(e)(f) t=0.3[sec]에서 0.8배의 저전압 인가 시  
Fig. 3 Phasor diagrams and simulation waveforms of the Line-Interactive UPS

그러나 그림 3(c)에서처럼 만약 입력 전압이 변동하여 과전압이 인가된다면 입력 전류는 그에 따라 전류가 뒤지게 되어 역률이 낮아지게 된다. 그림 3(d)의 실제 시뮬레이션은 t=0.3[sec]에서 입력 전압이 1.2배 상승 시 입력 전류가 입력 전압에 대해 뒤짐을 보이고 있다. 마찬가지로 그림 3(e)와 그림 3(f)는 입력이 저전압일 경우의 페이저 다이어그램과 시뮬레이션 파형을 보였다. 시뮬레이션은 입력 전압이 t=0.3[sec]에서 0.8배 하강 시 입력 전압의 위상이 크게 앞섬을 보이고 있다.

### 3. 직렬 능동 보상기를 갖는 Line-Interactive UPS

그림 4는 능동 보상기를 갖는 Line-Interactive UPS의 회로도이다. 이 UPS 시스템은 두 개의 인버터 사이에 배터리를 연결한 방식이다. 한 개의 인버터는 직렬 능동 보상기로 동작하고 다른 인버터는 병렬 능동 보상기로서의 기능을 수행한다. 따라서 Line-Interactive UPS의 가장 큰 문제점이었던 역률 문제를 직렬형에서 보상하므로 문제를 해결할 수 있었다.

그림 4의 UPS시스템의 제어는 두 가지 Mode로 동작 가능하다. Mode-1은 직렬형에서 전압 제어를, 병렬형에서 전류 제어를 하는 일반적인 직, 병렬 능동 필터의 동작이다. 그리고 Mode-2는 직렬형에서 전류 제어를, 병렬형에서 전압 제어를 하게 된다.<sup>[4]</sup>

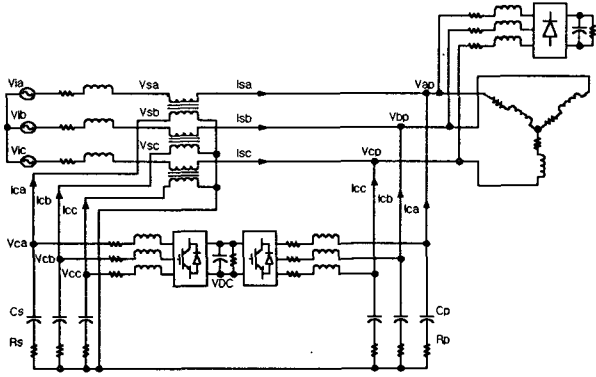


그림 4 직렬 능동 보상을 갖는 라인 인터랙티브 UPS  
Fig.4 Line-Interactive UPS of the series active compensator

### 3.1 Mode-1 제어

Line-Interactive UPS에 직렬로 설치한 능동 보상은 Mode-1의 제어에서 전압 보상의 기능을 수행한다. 그림 5는 전압 보상 블록 다이어그램으로 직렬 능동 보상기에서 보상 지령치( $V_{ca}^*, V_{cb}^*, V_{cc}^*$ )를 공급한다. 이러한 제어는 동기 회전 좌표계(SRF)에서 구현되어진다. 3상 입력 전원( $V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}$ )은 고정 좌표계로 변환하고, 또 이것을 동기 회전 좌표계로 변환한다. 그 후 고역 통과 필터(HPF)를 통해 고조파 성분만을 분리하여 고조파 보상 지령치를 만든다. 또한 일정 전압 제어는 실제 PCC단의 전압과 전압 지령치를 비교하여 출력 전압 지령치를 발생시킨다. 직렬 능동 보상기는 이를 이용하여 인버터 보상 전압을 제어하고, 출력 값을 모선에 주입하게 된다.

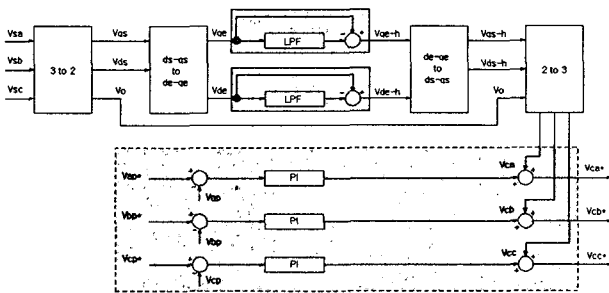


그림 5 직렬 능동보상기의 전압 보상 블록 다이어그램  
Fig. 5 Block diagram of the control for compensation

### 3.2 Mode-2 제어

그림 6은 전류 보상 다이어그램이다. Mode-2에서 직렬 능동 보상기의 제어 역시 동기 회전 좌표계(SRF)에 의해 구현되며 부하 측 전류( $I_{ald}, I_{ibd}, I_{icld}$ )를 공급받아 전류 보상 지령치( $I_{ca}^*, I_{cb}^*, I_{cc}^*$ )를

발생시킨다. 측정된 부하 전류( $I_{ald}, I_{ibd}, I_{icld}$ )는 고정 좌표계( $I_{qs}, I_{ds}$ )와 동기 회전 좌표계( $I_{qe}, I_{de}$ )로 변환한다. 또한 저역 통과 필터(LPF)를 사용해 부하 전류의 기본과 성분을 분리해 낼 수 있다. 이 기본과 중 무효 전류 성분( $I_{qe-dc}$ )을 제거하고, 유효 전력 성분만을 갖도록 제어한다. 이렇게 하여 얻어진 dc 기본과 성분만으로 동기 회전 좌표계( $I_{qs-f}, I_{ds-f}$ )와 고정 좌표계로 변환하여 3상 지령치를 만든다. 이 지령치는 인버터 보상 전류를 제어하며 출력 값을 모선에 주입하게 된다.

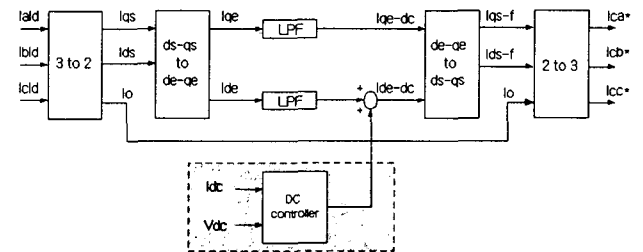


그림 6 직렬 능동 보상기의 전류 보상 블록 다이어그램  
Fig. 6 Block diagram of the control for current compensation

## 4. 시뮬레이션 결과

직렬 능동 보상기를 갖는 Line-Interactive UPS의 타당성을 검증하기 위해 ACSL을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Mode-1의 시뮬레이션 결과는 그림 7, 8이고 Mode-2의 시뮬레이션 결과는 그림 9이다.

그림 7에서는 입력 단에 5, 7고조파가 포함된 전원이 인가될 경우, 직렬 능동 보상기에서 보상 전압이 공급되고 병렬 능동 보상기에서는 보상 전류가 주입되어 출력 단에선 고조파가 제거된 정현 전압이 공급됨을 보이고 있다. 그림 8(a)에서는 실제  $t=0.3[\text{sec}]$ 에서 1.2배의 순간 전압 상승이 이루어질 경우, 그림 8(b)에선  $t=0.3[\text{sec}]$ 에서 0.8배의 순간 전압 강하가 이루어질 경우 입력 전압과 전류의 위상이 어긋나지 않음을 보이고 있다.

그림 9는 순간 전압 상승과 순간 전압 강하 시 직렬 능동 보상기에서 제어하는 DC Link의 충, 방전의 전압 파형을 보였다. 그림 10(a)에서  $t=0.3[\text{sec}]$ 에서 순간 전압 상승 시 DC Link에서 그만큼의 전압을 충전하고, 그림 10(b)에선  $t=0.3[\text{sec}]$ 에서 순간 전압 강하 시 DC Link에서 방전하므로 실제 PCC단에서는 균일한 전원을 공급한다. 그림 10(c),(d)

는 Line-Interactive UPS의 주목적인 정전 보상으로  $t=1.0[\text{sec}]-1.1[\text{sec}]$ 까지 5, 7고조파가 포함된 전원의 정전 시 정전 보상과 고조파 제거를 보이고 있다.

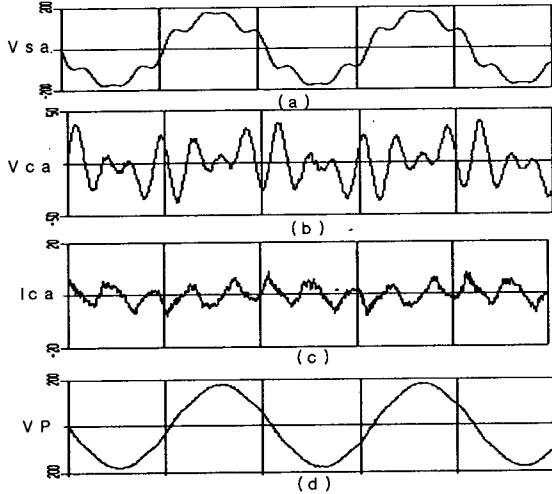


그림 7 Mode-1에서의 동작 파형  
 (a) 보상 전 입력 전압 (b) 보상 전압  
 (c) 보상 전류 (d) 보상 후 출력 전압  
 Fig. 7 Mode-1  
 (a)uncompensated input voltage  
 (b)compensation voltage  
 (c)compensation current  
 (d)compensated output voltage

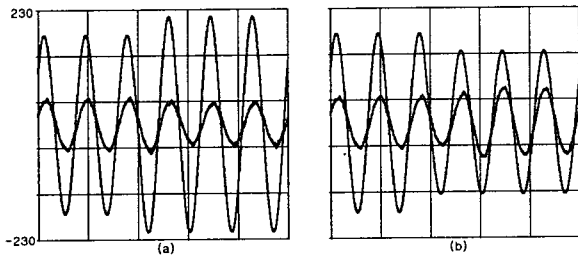


그림 8 입력 전압 변동에 따른 전원 전압과 전류 파형  
 (a) 순간 전압 상승 (b) 순간 전압 강하  
 Fig. 8 (a) Source overvoltage  
 (b) Source voltage sag

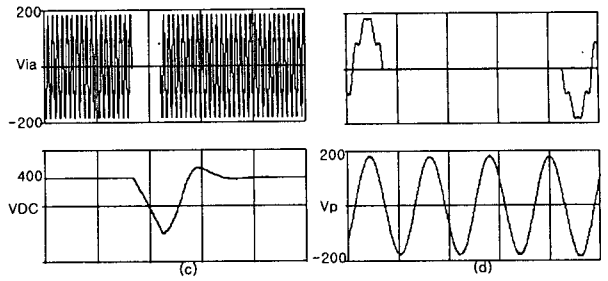
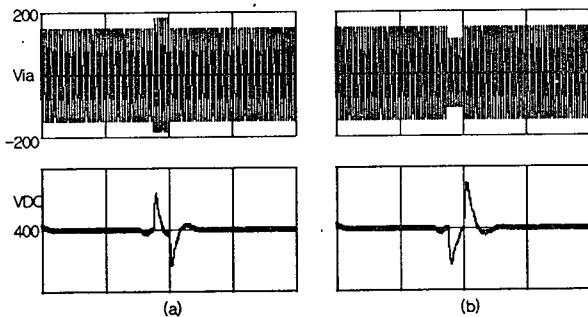


그림 10 Mode-2에서의 동작 파형  
 (a)순간 전압 상승 시 (b)순간 전압 강하 시  
 (c)정전 시 (d)정전 시 출력 전압

Fig. 10 Mode-2  
 (a) Source overvoltage  
 (b) Source voltage sag  
 (c) Source blackout  
 (d) compensated output voltage

## 5. 결 론

과전압과 저전압 인가 시 Line-Interactive UPS의 경우 직렬 보상기에서 무효 측 성분을 제거하므로 역률 보상이 가능함을 보였다. 소개된 Mode-1과 Mode-2는 동작 특성에선 큰 차이점은 없으나 Mode-2가 UPS 동작에서 더 큰 장점을 갖는다.

지금까지 개발된 직,병렬 보상기에서는 지정된 보상기에서만 DC Link 충전 기능을 수행할 수 있었다. 하지만 전원의 상태에 따라 DC-Link 충전 기능을 직렬형과 병렬형 기기가 서로 분담하는 방식에 대한 연구가 이루어질 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Hirofumi Akagi, "New Trends in Active Filters for Power Conditioning.", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 29, on.1 pp. 144~152, January/February 1993.
- [2] Soren Rathmann, Henry A. Warner, "New generation ups technology, The delta conversion principle." *IAS 96, Conference Record of the 1996 IEEE*, vol. 4, pp. 2389~2395, 1996.
- [3] Wen Jung Ho, Jan Bin Lio, Wu shiung Feng, "A Line Interactive ups Structure with Built in vector controlled Charger and PFC." *Power Electronics and Drive systems, 1997. proceedings. International conference on*, vol. 1, pp. 127~132, 1997.
- [4] Sergio augusto Oliveira da Silva, Pedro F. Donoso Garcia, "A comparative analysis of control algorithms for three phase line interactive ups systems with series parallel active power line conditioning using SRF method." *PESCOO. IEEE* vol. 2, pp. 1023~1028, 2000.