

단상 UPS의 입력 역률 개선에 관한 연구

김형원, 송양호, 조성민, 김병진, 전희중  
 숭실대학교

A study on the Input Power Factor Improvement of Single Phase Uninterruptible Power Supply

Hyung-won Kim, Yang-hoi Song, Seong-min Cho, Beung-jin Kim, Hee-jong Jeon  
 Soongsil University

**Abstract** - In the paper, a new single phase uninterruptible power supply(UPS) scheme is proposed. A conventional UPS can supply power to the load continuously. However, it may generate input current harmonics and the input power factor is very poor.

This paper proposes a phase control converter for single phase UPS. It mainly consists of a minimized structure of power converter which is capable of providing a specified constant output voltage, phase controlled battery charger. The proposed scheme is validated with a computer simulation.

려되었다. 또한 제안한 무정전 전원공급장치는 최소한의 컨버터 형태를 사용하였으며, 입력역률을 보정하는 새로운 제어회로를 구성하였다.

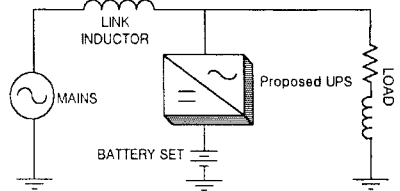


그림 1. 제안된 UPS의 형태

1. 서 론

최근에 급격히 발전하고 있는 사무 자동화기기(OA)나 공장 자동화기기(FA)에 이용되는 컴퓨터나 마이크로 프로세서를 내장한 장비 또는 통신기들은 전원변동에 민감하게 반응하고 있다. 위와 같은 첨단장비에 공급되는 전원이 문제가 발생하므로 무정전 전원공급장치의 필요성이 시급한 실정이다. 따라서 무정전 전원공급장치사용의 급격한 증가와 더불어 소용량 무정전 전원공급장치가 증가하고 있다. 무정전 전원공급장치는 소형화, 저가격형, 커뮤니케이션 기능등의 복합적인 기능을 요구하고 있다. 그러므로 무정전 전원공급장치의 기능 뿐만 아니라 크기, 가격까지도 고려해야 한다.

무정전 전원공급장치의 종류를 구분하면 OFF-Line 방식, ON-Line방식, 병렬 방식 그리고 양방향 방식이 있다. OFF-Line방식은 충전기, 배터리 셋, 인버터와 절환 스위치로 구성되어 전력부분은 복잡하지 않지만 절환시 과도 시간과 불안정한 출력전압을 가지고 있다. ON-Line방식은 정류기-충전기, 배터리 셋, 인버터와 절연변압기로 구성되어 있으며 off-line과 달리 절체시간에 관계없이 안정적인 전원을 공급하나 회로가 복잡하고 가격이 비싸지는 단점을 가진다. 병렬방식은 어느 하나가 부하측에 전원을 공급하고 있는 동안에 나머지 하나는 동작 중의 무정전 전원공급장치에 동기를 맞추어 off-line방식모드로 동작되고 구성된다. 동작중인 무정전 전원공급장치에 문제점이 발생하게 되면 부하를 분담해서 동작시키거나 문제가 발생한 부분을 Shut-down시키고 정상조건을 가진 무정전 전원공급장치가 계속해서 전력을 공급하는 것이다. 이러한 방식과 달리 양방향 방식은 주로 인버터와 충전기로서 동작할 수 있는 다기능 컨버터로 구성되어 있다.[1,2]

본 논문에서 제안한 무정전 전원공급장치의 구조는 그림 1과 같다. 이 방식은 위상 제어 컨버터, 배터리 셋 그리고 링크 인덕터로 구성되어 있다. 제안된 무정전 전원공급장치의 전력부분 특징은 기존 무정전 전원공급장치에 비해 간단하다. 이러한 구조로 동작되는 무정전 전원공급장치는 고효율, 소형화 그리고 저 가격화까지 고

2. 본 론

2.1 시스템의 기본이론.

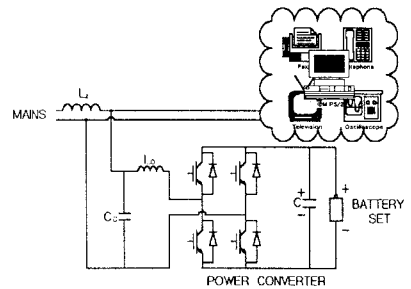


그림 2. 제안된 UPS의 전력회로

제안된 무정전 전원공급장치는 그림 2에서 보여준 것처럼 일정한 무정전 출력전압, 위상제어로 하는 배터리 충전기, 그리고 입력역률 개선 할 수 있는 전력 컨버터로 구성되었다.

주 전원이 정상일 경우, 링크 인덕터는 주 전원과 출력전압 벡터를 합성하는 전압의 인터페이스를 제공한다. 전력 컨버터는 배터리충전을 하기위해 정류기 기능을 하며 부하에 정상적인 전압을 공급하기 위해서 인버터 기능으로 동작한다. 또한 제안된 무정전 전원공급장치는 출력전압의 위상각을 제어하여, 매우 높은 입력역률을 가지게 된다.

주 전원이 비정상일 경우, 무정전 전원공급장치는 전형적인 인버터의 동작으로서 부하에 전력을 공급한다. 또한 위상 제어 컨버터가 이상이 생기면 컨버터의 동작을 차단시키고 주 전원이 바이패스 회로가 없는 링크 인덕터를 통해서 부하로 전원을 공급한다. 이러한 구조는 Off-Line 방식 또는 On-Line 방식과 다른 동작의 특성을 갖는다.

### 2.1.1 시스템의 구조.

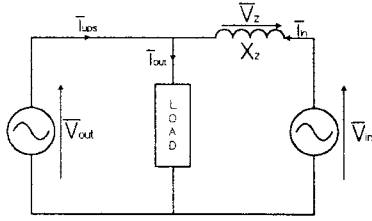


그림 3. 제안한 UPS의 등가회로

그림 3은 제안한 무정전 전원공급장치 회로의 등가 회로이며, 그림 4는 제안된 위상 다이어그램(phase diagrams)을 보여주고 있다. 두 개의 전원전압과 컨버터로 구성되어 있다. 주 전원전압은 제어할 수 없고 컨버터에서 발생하는 다른 전압으로 제어한다. 즉 입력전압과 입력전류의 위상은 컨버터의 위상과 크기를 조정하여 제어한다.

다음 방정식은 중첩의 원리에 의해 전개되며, 페이지로 나타내었다.

$$\bar{V}_{in} = \bar{V}_{out} + \bar{V}_z \quad (1)$$

$$\bar{I}_{out} = \bar{I}_{ups} + \bar{I}_{in} \quad (2)$$

$$\bar{I}_{in} = \bar{V}_z / jX_z \quad (3)$$

$X_z = \omega L_z$ 이므로

각값을 순시치로 표현하면, 먼저 입력전압을 기준하여 각각 위상차이를 다음식으로 나타내었다.

$$v_{in}(t) = V_{in} \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$v_{out}(t) = V_{out} \sin(\omega t - \alpha) \quad (5)$$

$$i_{out}(t) = I_{out} \sin(\omega t - (\alpha + \beta)) \quad (6)$$

$$i_{in}(t) = I_{in} \sin(\omega t - \delta) \quad (7)$$

위식에서의  $\beta$ 는 부하에 따라 달라지는 요소이다.

여기서

$$I_{in} = \frac{1}{X_z} \sqrt{(V_{out} \sin(\alpha))^2 + (V_{out} \cos(\alpha) - V_{in})^2} \quad (8)$$

$$\delta = \sin^{-1}(m) \quad (9)$$

(단,

$$m = (V_{in} - V_{out} \cos(\alpha)) / \sqrt{(V_{out} \sin(\alpha))^2 + (V_{out} \cos(\alpha) - V_{in})^2}$$

그리고 입력전압과 무정전 전원공급장치 전류의 위상차를  $\theta$ 로 표현하여 식으로 나타내면,

$$i_{ups}(t) = I_{ups} \sin(\omega t - \theta) \quad (10)$$

삼각함수를 적용하면

$$I_{ups} = \sqrt{I_{in}^2 + I_{out}^2 - 2I_{in}I_{out} \cos(\alpha + \beta - \delta)} \quad (11)$$

사인 법칙에 따라서,

$$\sin(\alpha + \beta - \delta) / \sin(\theta) = I_{ups} / I_{out} \quad (12)$$

그때,  $\theta'$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta' = \sin^{-1} \left( \frac{I_{out}}{I_{ups}} \sin(\alpha + \beta - \delta) \right) \quad (13)$$

그러면

$$\theta = 180^\circ - \theta' + \delta \quad (14)$$

식(5), (10), 그리고 (14)를 사용하여 위상 각  $\gamma$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서  $\gamma$ 는 전력 에너지의 흐름을 결정하는 특성을 가진다.

$$\gamma = \theta - \alpha = 180^\circ - \theta' + \delta - \alpha \quad (15)$$

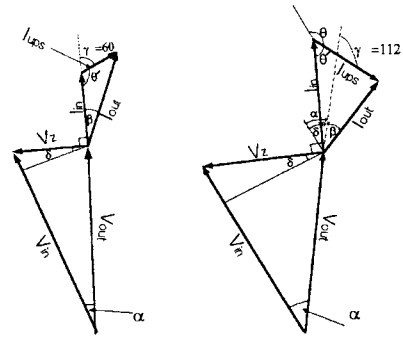


그림 4. 제안한 UPS의 Phasor도  
(a)  $\gamma = 60^\circ$  (b)  $\gamma = 112^\circ$ )

### 2.2 시스템의 전력제어 원리.

위의 방정식으로부터 전력의 흐름, 충전 전류 그리고 입력역률을 제어하기 위해서 다음과 같은 모드로 나누어 제어하였다.

#### 모드1: 배터리 충전 모드

정전동안 배터리가 방전된 후에 배터리의 에너지를 회복하기 위해서 주 전원으로부터 에너지를 충전한다. 그림 4에서 위상 다이어그램을 설명하면, 컨버터로부터의 전력은 식(16)으로 표현된다.

$$P_{ups} = V_{out} I_{ups} \cos(\gamma) \quad (16)$$

$\cos(\gamma)$ 는 전력의 흐름을 결정한다. 즉 이 값이 양 또는 음의 값에 따라서 충·방전이 결정된다. 식(15)에서  $\gamma$ 는  $\alpha$ 에 의해서 제어가 되는 것을 알 수 있다. 만약  $\gamma$ 가  $90^\circ < \gamma < 180^\circ$  이면 식(16)에 의해서  $\cos(\gamma)$ 가 영보다 작은 값을 가지므로 따라서 UPS의 전력은 영보다 작은 값이 되므로 컨버터가 주 전원으로부터 전력을 흡수하여 배터리 셋에 에너지가 충전하는 것을 의미한다. 또  $\gamma$ 가  $0^\circ < \gamma < 90^\circ$  이면 식(16)에 의해서  $\cos(\gamma)$ 가 영보다 큰 값을 가져 UPS의 전력은 영보다 크므로 배터리 셋에서 에너지가 방전하는 의미를 갖는다.

만약에 컨버터의 손실이 적다면,  $P_{ups} = P_{bat} = V_{bat} I_{bat}$ 으로 나타내며 이때의 충전전류는 식(17)이다.

$$I_{bat} = P_{ups} / V_{bat} \quad (17)$$

## 모드2 : 충전된 배터리 모드

배터리 셋이 가득 충전된 후, 무정전 전원공급장치는 모드2에서 동작한다. 이 모드에서는 배터리 전류가 0이면 컨버터의 손실이 작다는 가정 하에 배터리의 전력이 영이 된다. 이 모드동안에  $V_{out}$ 는 입력역률을 개선하기 위해서 제어된다. 만약에 단위역률,  $pf=1$  이라면, 식(9)은 영과 같아야 한다.

$$V_{out} = V_{in} / \cos(\alpha) \quad (18)$$

모드1과 모드2를 보면  $\alpha$ 의 위상 조정으로 배터리의 충·방전과 위상제어 즉 입력역률을 보정할 수 있는 것 이 수식으로 나타내었다.

그림 5는 제안된 무정전 전원공급장치의 제어기의 블럭 다이어그램이다. 이 제어기의 블럭 다이어그램은 배터리 전력상태검출, 출력 전력상태검출 그리고 위상검출 부분으로 구분되어 전력의 크기와 위상으로 제어하는 것으로 설계하였다.

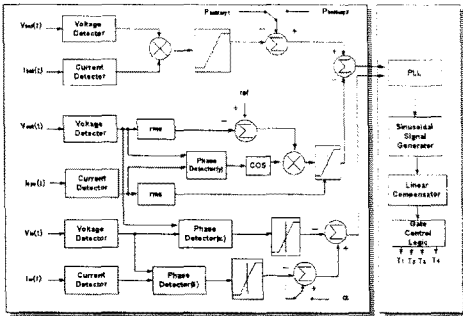


그림 5. 제안된 제어기의 블럭 다이어그램

### 3. 시뮬레이션 결과

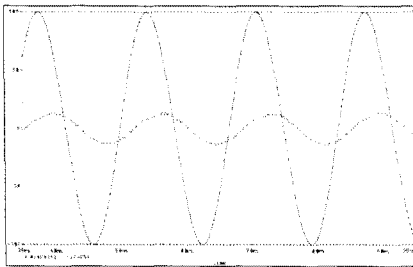


그림 6. 모드1의 입력전압과 전류 파형

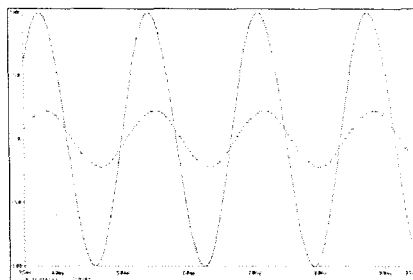


그림 7. 모드1의 입력전압과 전류 파형

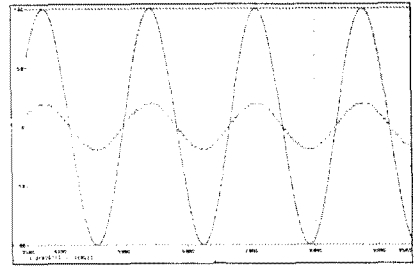


그림 8. 모드2의 입력전압과 전류 파형

링크 인덕터 5mH, 부하는  $8+j2.22(\Omega)$  그리고 입력전원 100[V]로 선정하여 시뮬레이션을 하였다.

그림 6은 입력 전압과 입력 전류가 부하에 따라서 위상차가 나타나는 것을 보이고 있다.

그림 6은 모드1에서의 동작을 나타내고 있다. 모드 1은 배터리 셋에 충전하는 동안 위상 차이를 나타내었다. 이때  $\alpha$ 의 위상을 조정하여 입력전류는 정현적인 파형을 유지하면서 배터리로 점차적으로 에너지를 충전하면서 그림 7처럼 위상의 차가 점점 줄어든다.

그림 8은 모드2에서의 무정전 전원공급장치의 동작을 나타내고 있다. 모드2는 배터리 셋에 완전한 충전 후의 위상관계를 나타내었다. 이때  $\alpha$ 의 위상을 조정하여 입력전압과 입력전류의 위상 차를 조정하여 역률이 1이 되게 하며 입력전류가 정현적인 파형으로 유지된다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 새로운 단상 무정전 전원공급장치를 제안하였다. 이 간단한 전력회로구성을 가진 무정전 전원공급장치는 위상제어로 입력역률을 제어할 뿐 만 아니라 배터리의 충·방전을 강제적으로 사용자에게 따라서 제어할 수 있는 뛰어난 성능과 저렴한 가격을 만족 시키고 있다. 제안된 이 무정전 전원공급장치를 좀더 보완하여 다양한 용도와 여러 분야에서 응용하고, 사용하리라 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] G.H Choe and M.H.Park, "A New Injection Method for AC Harmonic Elimination by Active Power Filter," IEEE Trans. Ind. Electron, Vol.35, No.1 pp.141-147, Feb.1988
- [2] S.Martinez, M.Castro, R.Antoranz, and F.Aldana, "Off-line Uninterruptible Power Supply with Zero Transfer Time Using Integrated Magnetics," IEEE Trans. Ind. Electron, Vol.36, No.3, pp.441-445, Aug.1989.
- [3] Yuasa Corporation, Osaka, Japan, "Development of UPS using new type of circuits," IEEE INTELEC'94, Conf. Proceedings, pp. 635-642
- [4] Jinn-Chang Wu and Hung-Liang Jou, "A New UPS Scheme Provides Harmonic Suppression and Input Power Factor Correction," IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 42, No.6, pp 629-635, Dec.1995.
- [5] Wen-Jung Ho, Jan-Bin Lio, Wu-Shiung Feng, "A Line-Interactive UPS Structure with Built-in Vector-Controlled Charger and PFC," IEEE Proceedings, pp.127-132, 1997.