

## 부하전류 예측에 의한 UPS의 출력전압 왜형을 개선에 관한 연구

\* 엄용기\* · 김철우\* · 박성준\*\* · 김광태\*\*\* · 권순재\*\*\*\*  
 \*부산대 · \*\*거제전문대 · \*\*\*부산전문대 · \*\*\*\*부경대

### A study on the distortion reducing of output voltage for UPS by estimated load current

Yong-Ki Eom\*, Cheul-U Kim\*, Sung-Jun Park\*\*, Kwang-Tae Kim\*\*\*, Soon-Jae Kwon\*\*\*\*  
 \*Pusan national univ. · \*\*Koje college · \*\*\*Pusan college · \*\*\*\*Pukyong national univ.

**Abstract** - Recently, the demand of UPS is increasing. This paper uses the instantaneous current control method with the predicative load current and the compensation to improve the characteristic response of UPS and reduce THD of the output voltage. With the computer simulation, it is verified the availability of the proposed method.

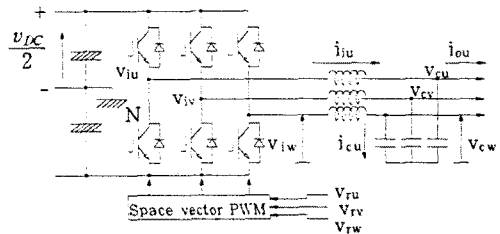
#### 1. 서 론

정밀기기의 발달에 따라 무정전 전원장치(UPS: uninterruptable power supply)의 필요성이 점차 많이 요구되어지고 있으며, 이에 따라 UPS의 출력 전압의 고조파 함유율, 즉 THD(total harmonic distortion)가 중요문제로 취급되어지고 있다. 비선형부하에 의한 출력전압의 THD 증가를 보상하기 위해 대용량 UPS에서는 출력주파수의 3, 5, 7배 등의 L-C 직렬 공진 필터를 인버터의 출력에 접속하여 부하의 고조파성분을 이 공진 필터에 유입시켜 출력 THD를 감소하는 방법이 사용되나, 이 방식은 부하전류 고조파의 크기에 따라 필터의 sizing수를 변화시켜야하며, 공진형 필터의 크기 및 경제적인 단점을 안고 있다. 한편 소용량 UPS에서는 고속 스위칭 소자를 이용한 순시 제어기법과 부하전류 예측 및 보상기법[1]등이 사용된다. 본 연구에서는 부하전류 예측기법을 이용하여 부하전류를 예측하고, 고조파 전류에 의한 출력전압 왜형을 증가를 보상할 수 있는 고조파 전압원을 인버터에서 발생시킴으로써 UPS의 출력전압 THD를 저감할 수 있는 방법을 제시한다.

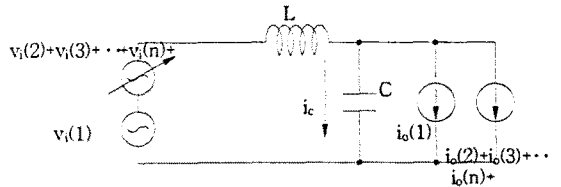
#### 2. 본 론

##### 2.1 부하전류 예측형 3상 UPS

그림 1은 3상 PWM인버터부와 필터부로 구성된 UPS의 기본 구성도를 나타낸다.



(a) Three-phase PWM inverter for UPS



(b) Equivalent single-phase circuit

Fig. 1 Main circuit of UPS

그림 1에서 인버터의 교류측 단자전압  $v_{iu}$ ,  $v_{iv}$ ,  $v_{iw}$ 는 식(1)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} v_{iu} &= \left(\frac{v_{DC}}{2}\right)v_{ru} + v_{hu} - v_N \\ v_{iv} &= \left(\frac{v_{DC}}{2}\right)v_{rv} + v_{hv} - v_N \\ v_{iw} &= \left(\frac{v_{DC}}{2}\right)v_{rw} + v_{hw} - v_N \end{aligned} \quad (1)$$

$$v_N = \frac{v_{hu} + v_{hv} + v_{hw}}{3}$$

한편, 필터의 인덕터 및 콘덴서의 전압방정식은 식(2)와 같이 주어진다.

$$L \frac{di_i}{dt} = v_i - v_c \quad (2)$$

$$C \frac{dv_c}{dt} = i_i - i_o$$

식(1)과 식(2)에서 알 수 있듯이 인버터의 교류측 단자전압은 제어가능하나 UPS의 출력전압인 콘덴서전압은 부하조건과 필터의 계수에 의해 달라질 수 있다. UPS의 부하가 비선형성 부하로 인하여 고조파 전류가 인버터 L-C필터의 콘덴서에 흐르면, 인버터 출력전압은 파형 변형을 일으켜 THD가 증가하게 된다.

비선형 부하전류는 그림 1(b)와 같이 기본파 전류 및 고조파 전류의 등가적인 전류원이라 가정할 수 있고, 부하측 고조파 전류원을 인버터측으로 변환하면, 기본파 전원에 직렬로 접속시킨 고조파 전압원이 된다. 따라서 부하전류를 예측하고, 예측된 고조파 부하전류를 형성할 수 있도록 PWM인버터에서 고조파 전원을 발생하면 출력전압은 양호한 정현파가 됨을 알 수 있다.

## 2.2 UPS용 인버터의 제어기법

UPS의 외란으로 취급되는 부하전류에 의한 출력전압  $v_c$ 의 맥동을 보상하기 위한 제어방식은 다음과 같다. 출력전압의 왜형은 필터회로의 콘덴서에 유입되는 전류의 형태에 의해 결정되며, 콘덴서로 유입되는 전류  $i_c$ 가 식(3)을 만족하면 출력전압은 부하전류에 관계없이 정현적인 전압을 유지할 수 있다.

$$i_c = j\omega C V_c \quad (3)$$

그러나, 콘덴서로 유입되는 전류는 인덕터의 전류에 대한 부하전류의 차가 되므로 정현적인 콘덴서 전류를 형성하기 위해서는 부하전류에 대한 정보가 필수적이다.

부하전류 예측기법으로는 1차 예측기법 및 2차 예측기법이 많이 사용되나 정류기와 같이 전류 변동분이 급변하는 부하에는 1차 예측기법이 적합하다. 따라서, 본 연구에서는 식(4)와 같이 1차 보상기법을 사용하여 부하전류를 예측하였다.

$$i_o(k+1) = 2i_o(k) - i_o(k-1) \quad (4)$$

1차 예측기법인 식(4)의 블록도는 그림 2와 같다.

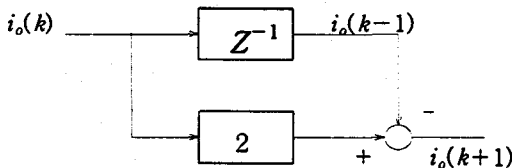


Fig. 2 Block of first prediction

순시적인 부하전류가 예측되면 정현적인 일정한 출력전압을 형성하기 위해 필터단 인덕터에 흘러야 할 전류치는 식(5)로 계산된다.

$$i_i^* = i_o + j\omega C v_c \quad (5)$$

필터단 인덕터의 전류를 형성하는 것은 인버터의 출력전압  $v_i$ 를 순시적으로 조절함으로써 가능하며,

필터의 인덕터에 원하는 전류를 형성하기 위해 인덕터에 인가되어야 할 전압은 식(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$v_L^* = L \frac{di_i^*}{dt} \quad (6)$$

위 식을 이산미분식으로 표현하면 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$v_L^*(k+1) = L \frac{i_i^*(k) - i_i^*(k-1)}{T_s} \quad (7)$$

원하는 전류를 인덕터에 흘리기 위한 인덕터의 전압은 식(7)과 같이 주어지며 인덕터에 원하는 전류를 흘리기 위한 인버터 출력전압의 순시적 제어는 식(8)과 같이 되어야 한다.

$$V_i^* = v_c + v_L^* \quad (8)$$

식(8)로 UPS인버터의 출력전압을 제어할 경우 콘덴서, 인덕터의 용량 측정 오차 및 전류센서를 통한 전류계측 오차로 인하여 UPS의 출력전압은 오차를 가질 수 있다. 따라서, 이를 보완하기 위한 인버터 지령 출력전압의 보상은 지령전압인 전원전압과 UPS의 출력전압을 입력변수로 한 비례적분(PI)제어기를 사용하여 보상할 수 있다. 따라서, 인버터의 출력지령전압은 최종적으로 식(9)와 같이 사용된다.

$$V_i^* = v_c + v_L^* + PI \quad (9)$$

그림 3은 비선형 부하에 강인하게 동작하는 UPS를 제어하기 위한 시스템 구성도이다.

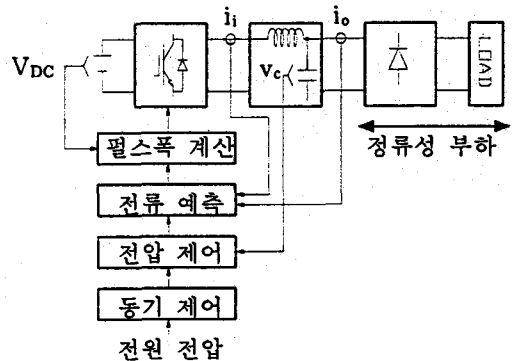


Fig. 3 System block diagram

전체 시스템은 크게 직류전압을 얻기 위한 다이오드 정류부, UPS의 출력전압을 제어하기 위한 인버터부, 고조파 전압을 필터링 하기 위한 필터부 및 정류성 부하부로 나누어진다.

## 3. 시뮬레이션 및 실험결과

앞 절에서 제안한 제어방식의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션을 행하였으며 피시험 UPS의 사양 및 부하조건은 표 1과 같다.

Table 1 Simulation condition on the UPS

3상 UPS인버터의 사양	
용량	3 [kVA]
입력 DC전압	400 [V]
출력 선간전압	3 $\phi$ 220 [V]
스위칭 주파수	3 [kHz]
필터용 L	0.5 [mH]
필터용 C	600 [ $\mu$ F]
정류 부하조건	
필터 C	5000 [ $\mu$ F]
부하용 R	33 [ $\Omega$ ]

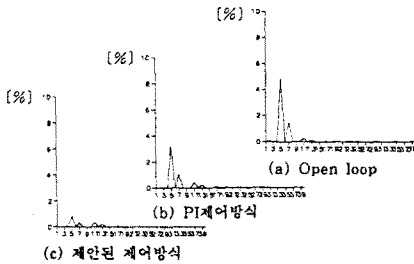


Fig. 4 Analysis of FFT

그림 4는 각 방식에서 정류부하시 출력전압의 왜형률을 비교하기 위하여 출력전압을 40차까지의 FFT로 나타낸 그림이다.

Open loop제어시 40차까지의 THD는 5.07[%]로 나타났으며, PI제어방식에서도 THD는 Open loop제어시와 비슷한 값인 3.40[%]로 나타났다. 그러나, 제안된 제어방식에서는 THD가 0.93[%]로 나타났다.

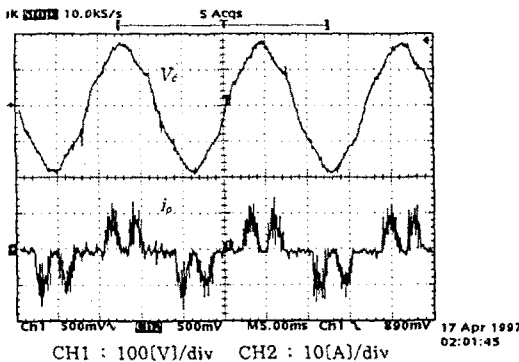


Fig. 5 Output voltage, load current with rectified load(PI controller)

그림 5는 3[kVA] 정류성 부하에서 출력전압을 비례적분제어를 행할 경우의 부하전류 및 출력전압 파형이다. 그림 6은 그림 5와 같은 부하조건하에서 부하전류 예측기법을 적용한 경우의 출력전압 및 부하전류 파형이다.

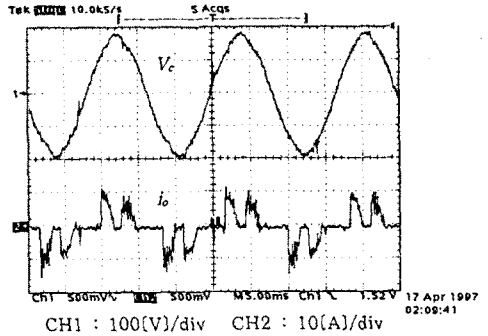


Fig. 6 Output voltage, load current with rectified load(proposed)

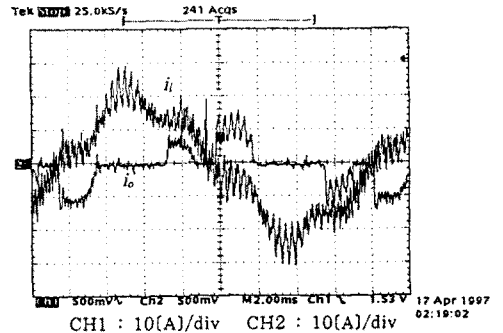


Fig. 7 Load current, filter current with rectified load(proposed)

그림 7은 제안된 방식에서의 부하 전류 및 필터의 인덕터 전류 파형이다. 이러한 두 개의 전류 파형으로부터 출력 전압을 정현적으로 만들어주는 필터단 콘덴서 전류를 검출해낼수 있다.

#### 4.결 론

UPS의 부하가 되는 많은 전원장치들은 부하내부에 직류전원을 사용하므로 입력부에 정류회로를 설치하고 있다. 이로 인하여 UPS의 출력전압은 고조파 성분이 포함된 왜형파가 된다. 본 연구는 UPS의 비선형 부하인 정류성 부하에서 출력전압 THD 저감을 위해 고조파가 포함된 부하전류 예측 및 보상기법을 이용한 순시 전류 제어기법을 제안하였다. 또한 시뮬레이션과 실험을 통해 제안한 방법의 타당성을 입증하였다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] T.Kawabata, T. Miyasita & Y. Yamamoto "Dead Beat Control of Three Phase PWM Inverter" IEEE Trans. Power Elect., 5 no. 1, 1990
- [2] C. Hua, R. G. Hoft, "High Performance Deadbeat Controlled PWM Inverter Using a Current Source Compensator for Nonlinear Loads", PESC'92 Conf. Proc. pp. 443-450