

# 단상 다기능 UPS 입·출력 필터 설계

김재홍

강릉영동대학 전기과

전화 : 033-610-0327 / 핸드폰 : 019-443-0327

## Design of Input · Output Filter of Single Multifunctional UPS

Je-Hong Kim

Dept. of Electrical Engineering, Yeongdong College

E-mail : jhkim@yeongdong.ac.kr

### Abstract

A design for the input filter and the output filter of a single-phase UPS system is proposed. And also, this paper describes a reduction of the DC voltage ripple of a single-phase UPS. The input power of proposed UPS fluctuates with twice frequency of the utility source, which causes DC voltage fluctuation. The reduction of the DC voltage fluctuation requires a large DC link capacitor. The proposed method uses a LC series resonant filter paralleled with a conventional smoothing capacitor. The effectiveness of the proposed method was confirmed by simulation results.

### I. 서론

무정전 전원장치는 직류측에 직류전력을 저장하기 위하여 배터리를 가지고 있다. 전력변환장치의 스위칭 동작에 의해 발생된 고조파전류가 배터리로 흐르게 되면 배터리에서 열손실이 발생하여 배터리의 수명이 단축되는 결과를 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전력변환장치와 배터리 사이에 고조파 제거용 필터가 설치된다. 그리고 무정전 전원장치의 교류 출력측에는 출력전압을 정현파로 유지하기 위하여 일반적으로 LC 저역필터가 사용되어 왔다.[1,2,3]

단상 다기능 무정전 전원장치는 단상 시스템으로 직류측에 상용전원 주파수의 2배 고조파가 상당히 크게 나타난다. 이 고조파를 효과적으로 제거하기 위하

여 본 연구에서는 2배 주파수에 공진을 일으키도록 LC 저역필터 대신에 LC 직렬공진 필터를 설계하여 제안한다. 그리고 단상 다기능 무정전전원장치의 출력필터의 출력전압이 5%이하의 THD를 가지도록 설계한다. 제안된 필터설계 알고리즘과 시뮬레이션을 통하여 단상 다기능 UPS 시스템의 입출력필터설계의 타당성을 입증한다.

### II. UPS의 입출력필터설계

#### 2.1 LC-LC 입출력필터

##### 1) LC 출력필터 설계

무정전 전원장치의 교류 출력측 필터로 LC 필터를 설계한다. 전력용 컨버터의 출력필터 설계시 정격부하에서 출력전압은 THD가 5%이하로 설계되어야 한다. 최악의 부하조건(0.8 지상)에서 만약 지배적인 고조파성분의 크기가 기본파 성분 크기의 3%이하로 설정되면 출력전압의 THD는 5%이하의 영역에 존재하게 된다.

전력용 컨버터 출력필터의 설계 방정식은 다음의 식 (1)로 주어진다.

$$\frac{X_{L_{a,1}}}{X_{C_{a,1}}} = L_a C_a = \frac{22}{(2f_s - 1)^2} \quad (1)$$

식 (1)에 의해 무정전 전원장치의 교류 출력측 필터가 설계된다.

2) LC 직류 입력필터설계

다음의 식 (2)와 (3)은 필터 인덕터 전류의 맥동성분  $K_i$ 와 커패시터 전압의 맥동성분  $K_v$ 의 함수로 구성되는 직류측 입력필터의 설계 방정식이다. 그림 1은 전력용 컨버터의 직류 입력측 필터에 대한 등가회로를 나타낸 것이다.

$$\frac{X_{Ld,1}}{X_{Cd,1}} = \frac{0.28}{K_i} + 0.25 \quad (2)$$

$$\frac{X_{Ld,1} X_{Cd,1}}{4 X_{Ld,1} - X_{Cd,1}} = 1.414 K_v \quad (3)$$

따라서,  $K_i$ 와  $K_v$ 에 대한 전력용 컨버터의 입력 사양이 결정되어지면 입력필터의  $L_d$ 와  $C_d$ 를 설계 할 수 있다.

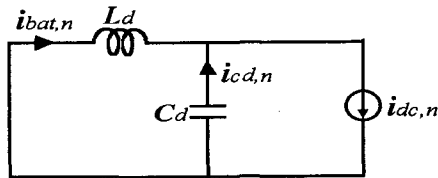


Fig. 1 Equivalent circuit of DC input filter.

3) LC-LC 입출력필터의 설계 예

Table 1 Design conditions of input and output filter.

DC input voltage $V_{dc} = 380(V)$
RMS value of output voltage of power converter $V_{0,RMS} = 220(V)$
RMS value of rated load current $i_{o,RMS} = 20(A)$
Output frequency of power converter $f_o = 60(Hz)$
Switching frequency of power converter $f_s = 60 \times 160(Hz)$
Current ripple factor of DC input filter inductor $K_i = 0.2$
Voltage ripple factor of DC input filter capacitor $K_v = 0.01$
THD = 5%

표 1의 사양으로부터, 전력용 컨버터의 출력 필터는 식 (1)로 부터 다음과 같이 된다.

$$L_a C_a = \frac{22}{(2f_s - 1)^2} = \frac{22}{(2 \times 20 - 1)^2} = 0.000216 (\mu s)$$

커패시터  $C_a$ 를 0.5(μs)로 설정하면 출력 필터의 실제값들은 다음과 같이 주어진다.

$$C_a = \frac{1}{X_{Ca} \omega_0} = \frac{1}{(2 \times 377 \times 11)} = 120.6 [\mu F]$$

$$L_a = \frac{X_{La}}{\omega_0} = \frac{0.000432 \times 11}{377} = 0.013 [mH]$$

설계식 (2)와 (3)을 사용하여 다음의 설계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{X_{Ld,1}}{X_{Cd,1}} = \frac{0.28}{0.2} + 0.25 = 1.6$$

$$\frac{X_{Ld,1} X_{Cd,1}}{4 X_{Ld,1} - X_{Cd,1}} = 1.414 \times 0.01 = 0.0141$$

따라서, 직류 커패시터  $C_d$ 와 직류 인덕터  $L_d$ 의 실제값은 다음과 같이 얻어진다.

$$C_d = \frac{1}{0.0265 \times 11 \times 377} = 9099 [\mu F]$$

$$L_d = \frac{0.042 \times 11}{377} = 1.2 [mH]$$

4) LC-LC 입출력필터의 시뮬레이션

그림2와 3은 직류측 입력전류와 배터리 전류의 시뮬레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸 것이다. 상용전원 주파수의 2배 주파수에 해당하는 고조파성분은 완전히 제거되지 않으나 전력용 컨버터 스위칭시 발생하는 고조파성분은 상당히 제거되고 있음을 알 수 있다. 그림 4와 그림 5는 각각 전력용 컨버터의 출력단 전압과 LC 필터 출력전압의 시뮬레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸 것이다. 전력용 컨버터의 LC 출력필터의 특성이 양호함을 알 수 있다.

2.3 LC 직렬공진 입력필터

1) LC직렬공진 입력필터 설계

다음의 식 (4)의 관계가 성립하도록  $L_i$ 와  $C_i$ 를 설계한다.

$$L_i C_i = \frac{1}{4 \omega^2} \quad (4)$$

교류 리액터에는 자기포화나 히스테리시스 현상이 존재하며 교류 리액터의 입력전류가 정격보다 크게 되면 이들의 비선형 현상에 의해 등가저항이 커지게 된다. 따라서, LC 필터의 정격 전류용량에 대해서 검토

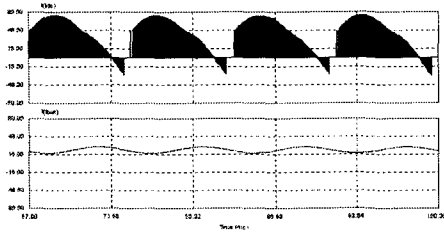


Fig. 2 DC input current and battery current.

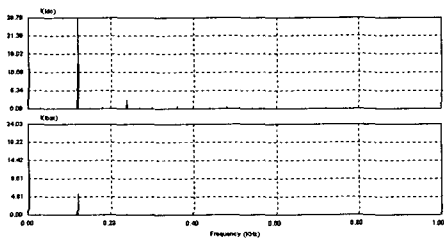


Fig. 3 Harmonic spectrum of DC input current and battery current.

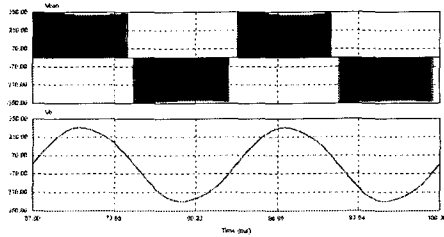


Fig. 4 Converter output voltage and filter output voltage.

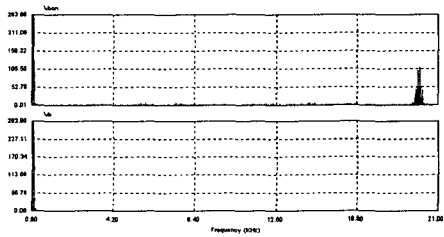


Fig. 5 Harmonic spectrum of converter output voltage and filter output voltage.

가 반드시 이루어져야 한다.

본 시스템에서는 식 (4)에 의해  $L_t = 2mH$ ,  $C_t = 879 \mu F$  를 사용하였다.

2) 시뮬레이션 결과

직류측 평활용 커패시터  $C_d$ 의 값이 LC 필터의 경우보다 현격히 감소하였을 알 수 있다. 그 이유는 LC 필터의 경우 직류측에 나타나는 모든 고조파를 커패시터  $C_d$ 가 감당하지만 여기서는 LC 직렬공진 필터가 2배 주파수의 고조파를 별도로 담당하고 그 이외의 스위칭에 의해 나타나는 고조파성분들만 평활용 커패시터  $C_d$ 가 담당하기 때문이다.

그림 6은 제안된 시스템의 전력회로이다. 그림 7과 그림 8은 직류측 입력전류와 배터리전류의 시뮬레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸다. 상용전원 주파수의 2배 주파수에 대해 LC 직렬공진을 일으키도록 하여 2배 주파수의 고조파성분이 완전히 제거되었음을 알 수 있다. 그림 9와 그림 10은 각각 LC 직렬공진 필터와 평활용 커패시터로 흡수되는 전류의 시뮬레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸다. LC 직렬공진 필터로는 거의 2배 주파수의 고조파전류만 흡수되고 평활용 커패시터로는 전력용 컨버터의 PWM 스위칭시 발생하는 고조파성분들이 흡수되고 있음을 알 수 있다. 그림 11과 그림 12는 각각 전력용 컨버터 출력단 전압과 LC 필터 출력전압의 시뮬레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸다. 컨버터 LC 출력필터의 출력 전압 THD가 5%이하임을 알 수 있다.

이상으로부터 직류측 배터리 필터로서 LC 저역통과 필터 대신에 LC 직렬공진 필터를 사용하는 것이 배터리로 유입되는 고조파전류를 효과적으로 제거할 수 있음을 알 수 있다.

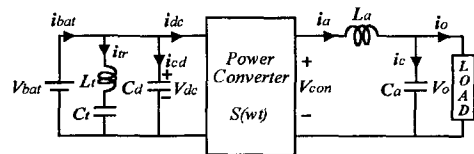


Fig. 6 Power circuit with LC series resonant filter.

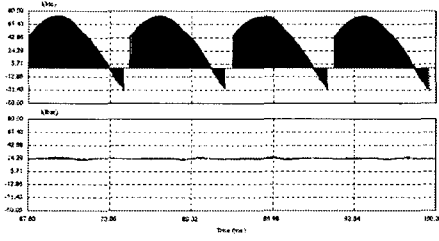


Fig. 7 DC input current and battery current.

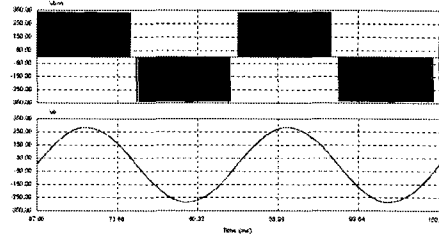


Fig. 11 Converter output voltage and filter output voltage.

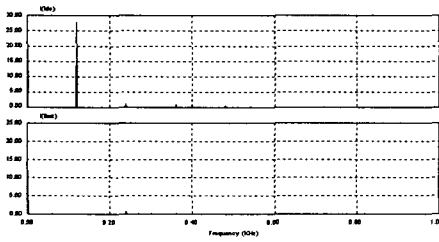


Fig. 8 Harmonic spectrum of DC input current and battery current.

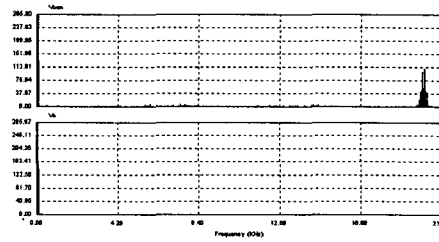


Fig. 12 Harmonic spectrum of converter output voltage and filter output voltage.

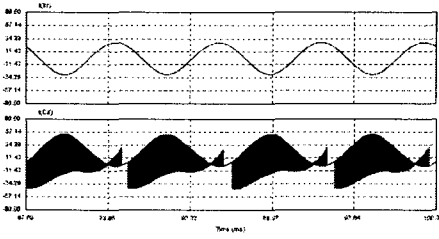


Fig. 9 LC series resonant current and smoothing capacitor current.

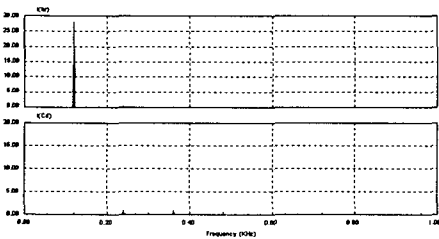


Fig. 10 Harmonic spectrum of LC series resonant current and smoothing capacitor current.

### V. 결론

본 연구에서는 단상 다기능 UPS의 입출력필터로서 직류 입력측에는 LC 직렬공진 필터를 교류 출력측에는 기존의 LC 저역통과 필터를 설계하여 시뮬레이션을 통하여 타당성을 입증하였다.

시뮬레이션 비교결과 UPS의 직류측 배터리 필터로서 LC 저역통과 필터 대신에 LC 직렬공진 필터를 사용하는 것이 배터리로 유입되는 고조파전류를 효과적으로 제거할 수 있음이 판명되었다.

### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] S.B. Dewan, et. al., "Optimum filter design for a single-phase solid-state UPS system", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. IA-15, No. 6, 1979
- [2] Vlatko Vlatkovic, et. al., "Input filter design for power factor correction circuits", *APEC' 93*, Vol. 2, pp. 954-958, 1993
- [3] S. Kim, et. al., "A bifunctional utility connected photovoltaic system with power factor correction and UPS facility", *25th PVSC*, Vol. 3, pp. 1363-1368, 1996