

무정전전원장치(UPS)의 입출력필터설계에 관한 연구

김제홍, 조양행, 손재현  
강릉영동대학 전기과

Design of Input Output Filter of Uninterruptible Power Supply

Je-Hong Kim, Yang-Heang Cho, Jae-Hyun Son  
Kangneung Yeongdong College

**Abstract** - A design for the input filter and the output filter of a single-phase uninterruptible power supply (UPS) system is proposed. A filter design example is presented. And also, this dissertation 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.

의 부하조건(0.8 지상)에서 만약 지배적인 고조파성분의 크기가 기본파 성분 크기의 3%이하로 설정되면 출력전압의 THD는 5%이하의 영역에 존재하게 된다.

그림 1은 LC 직렬공진 필터를 가지는 제안된 시스템의 전력회로이다.

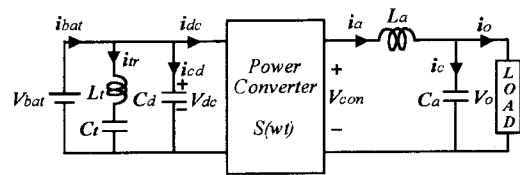


그림 1. LC 직렬공진 필터를 가지는 제안된 시스템의 전력회로

1. 서 론

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.[1] 그리고 무정전 전원장치의 교류 출력측에는 출력전압을 정현파로 유지하기 위하여 일반적으로 LC 저역필터가 사용되어 왔다.[2]

단상 다기능 무정전 전원장치는 단상 시스템으로 직류측에 상용전원 주파수의 2배 고조파가 상당히 크게 나타난다[2,3]. 이 고조파를 효과적으로 제거하기 위하여 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.

2. 본 론

2.1 LC-LC 입출력필터

2.1.1 LC 출력필터설계

무정전 전원장치의 교류 출력측 필터로 LC 필터를 설계한다. 전력용 컨버터의 출력필터 설계시 정격부하에서 출력전압은 THD가 5%이하로 설계되어야 한다. 최악

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

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

식 (1)에 의해 무정전 전원장치의 교류 출력측 필터가 설계된다.

2.1.2 LC 직류 입력필터설계

그림 2는 전력용 컨버터의 직류 입력측 필터에 대한 등가회로를 나타낸 것이다.

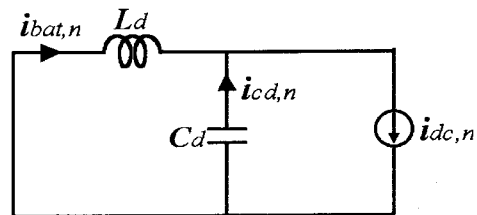


그림 2. 직류 입력측 필터의 등가회로

직류 입력전류의 고조파성분  $i_{dc,n}$  은 컨버터의 스위칭 동작에 의하여 만들어지고 필터 인덕터 전류와 필터 인덕터 전압은 각각 다음의 식 (2)와 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$i_{bat,n} = \frac{i_{dc,n}}{\frac{n^2 X_{Ld,1}}{X_{Cd,1}} - 1} \quad (2)$$

$$V_{dc,n} = \frac{n X_{Ld,1} \cdot X_{Cd,1}}{n^2 X_{Ld,1} - X_{Cd,1}} i_{dc,n} \quad (3)$$

여기서,  $i_{bat,n}$  : 필터 인덕터 전류의 n차 고조파 성분의 크기

$X_{Ld,1}$  : 컨버터 출력 주파수에서 필터 인덕터의 리액턴스

$X_{Cd,1}$  : 컨버터 출력 주파수에서 필터 커패시터의 리액턴스

n : 고조파전류의 차수

필터 인덕터의 전류 맥동성분  $K_i$  와 필터 커패시터의 전압 맥동성분  $K_v$  는 다음의 식 (4)와 식 (5)와 같이 된다.

$$K_i = \frac{\left( \sum_{n=1}^{\infty} i_{bat,n}^2(RMS) \right)^{1/2}}{i_{bat,0}} \simeq \frac{i_{bat,2}(RMS)}{i_{bat,0}} \quad (4)$$

$$K_v = \frac{\left( \sum_{n=1}^{\infty} V_{dc,n}^2(RMS) \right)^{1/2}}{V_{dc,0}} \simeq \frac{V_{dc,2}(RMS)}{V_{dc,0}} \quad (5)$$

여기서,  $i_{bat,0}$  : 필터 인덕터전류의 직류 성분 =  $i_{dc,0}$

$i_{bat,2}(RMS)$  : 필터 인덕터 전류의 2차 고조파 전류 성분

$V_{dc,0}$  : 필터 커패시터전압의 직류성분

$V_{dc,2}(RMS)$  : 필터 커패시터전압의 2차 고조파 성분의 실효치

식 (4)와 식 (5)를 식 (2)와 식 (3)에 대입하여 정리하면 다음의 식 (6)과 식 (7)과 같이 된다.

$$K_i = \frac{1}{\left( 4 \frac{X_{Ld,1}}{X_{Cd,1}} - 1 \right)} i_{dc,2}(RMS) \quad (6)$$

$$K_v = \frac{2X_{Ld,1} X_{Cd,1}}{(4X_{Ld,1} - X_{Cd,1}) V_{dc,0}} i_{dc,2}(RMS) \quad (7)$$

따라서,  $i_{dc,2}(RMS)$ 와  $i_{dc,0}(RMS)$ 를 식 (6)과 식 (7)에 대입하여 정리하면 다음의 식 (8)과 식 (9)와 같이 된다.[2]

$$\frac{X_{Ld,1}}{X_{Cd,1}} = \frac{0.28}{K_i} + 0.25 \quad (8)$$

$$\frac{X_{Ld,1} X_{Cd,1}}{4 X_{Ld,1} - X_{Cd,1}} = 1.414 K_v \quad (9)$$

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

### 2.1.3 LC-LC 입출력필터의 설계

표 1. 입출력필터의 설계조건

$V_{dc}$	$V_{0,RMS}$	$i_{o,RMS}$	$f_o$	$f_s$	$K_i$	$K_v$	THD
380	220(V)	20(A)	60(Hz)	9600(Hz)	0.2	0.01	5%

단,  $V_{0,RMS}$  : 전력용 컨버터의 출력전압 실효치

$i_{o,RMS}$  : 전력용 컨버터의 정격전류실효치

$f_o$  : 전력용 컨버터의 출력주파수

$f_s$  : 전력용 컨버터의 스위칭주파수

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

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

커패시터  $C_a$  를 0.5(pu)로 설정하면 출력 필터의 실제 값들은 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 (8)과 (9)를 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.

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

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

### 2.1.4 LC-LC 입출력필터의 시물레이션

그림 3과 그림 4는 직류측 입력전류와 배터리 전류의 시물레이션 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 5와 그림 6은 각각 전력용 컨버터의 출력단 전압과 LC 필터 출력전압의 시물레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸 것이다. 전력용 컨버터의 LC 출력필터의 특성이 양호함을 알 수 있다.

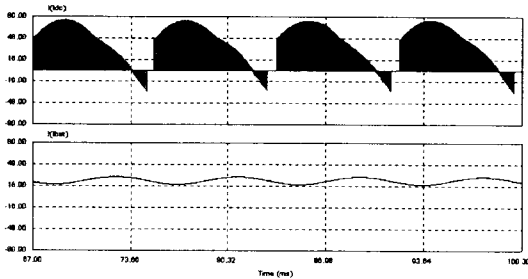


Fig. 3 DC input current and battery current.

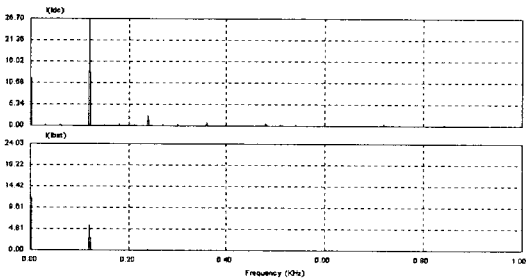


Fig. 4 Harmonic spectrum of DC input current and battery current.

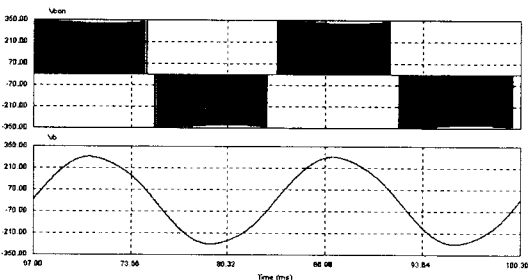


Fig. 5 Converter output voltage and filter output voltage.

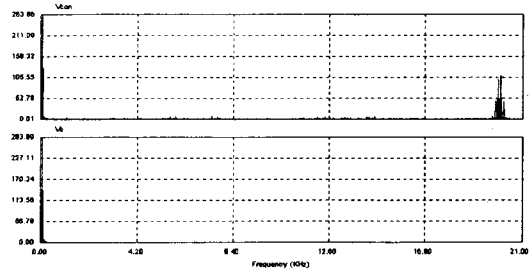


Fig. 6 Harmonic spectrum of converter output voltage and filter output voltage.

## 2.2 LC 직렬공진 입력필터

### 2.2.1 LC 직렬공진 입력필터 설계

다음의 식 (10)의 관계가 성립하도록  $L_t$ 와  $C_t$ 를 설계한다.

$$L_t C_t = \frac{1}{4 \omega^2} \quad (10)$$

교류 리액터에는 자기포화나 히스테리시스 현상이 존재하며 교류 리액터의 입력전류가 정격보다 크게되면 이들의 비선형 현상에 의해 등가저항이 커지게 된다. 따라서, LC 필터의 정격 전류용량에 대해서 검토가 반드시 이루어져야 한다.

본 시스템에서는 식 (10)에 의해  $L_t = 2mH$ ,

$C_t = 879 \mu F$ 를 사용하였다.

### 2.2.2 LC 직렬공진 입력필터의 시물레이션

직류측 평활용 커패시터  $C_d$ 의 값이 LC 필터의 경우보다 현저히 감소하였음을 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 7과 그림 8은 직류측 입력전류와 배터리전류의 시물레이션 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 직렬공진필터와 평활용 커패시터로 흡수되는 전류의 시물레이션 파형 및 고조파 분석결과를 나타낸다. LC 직렬공진필터로는 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 출력전압 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.

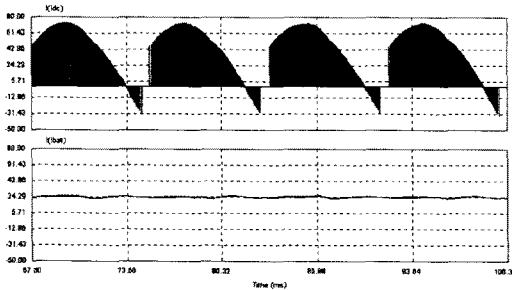


Fig. 7 DC input current and battery current.

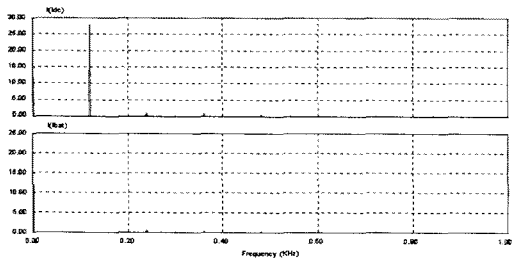


Fig. 8 Harmonic spectrum of DC input current and battery current.

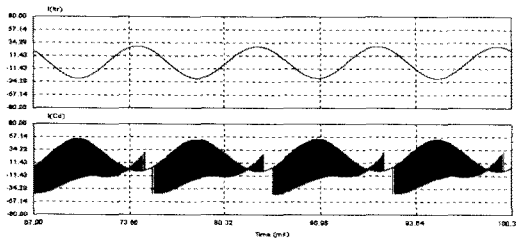


Fig. 9 LC series resonant current and smoothing capacitor current.

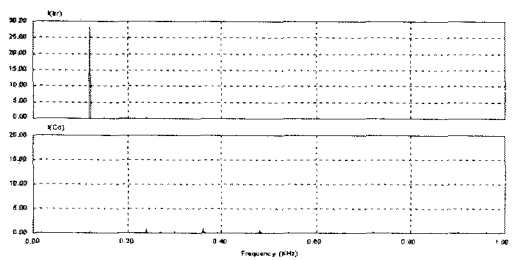


Fig. 10 Harmonic spectrum of LC series resonant current and smoothing capacitor current.

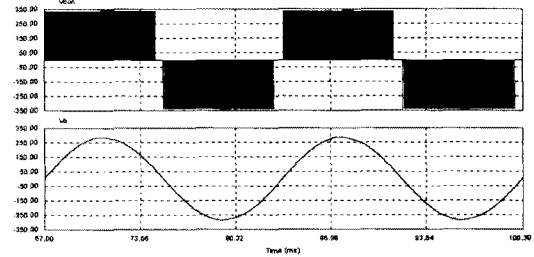


Fig. 11 Converter output voltage and filter output voltage.

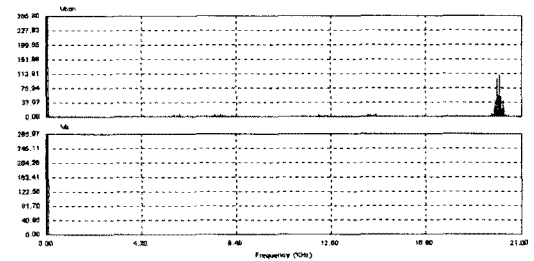


Fig. 12 Harmonic spectrum of converter output voltage and filter output voltage.

### 3. 결 론

본 연구에서는 단상 다기능 무정전 전원장치의 입출력 필터로서 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 직렬공진필터를 사용하는 것이 배터리로 유입되는 고조파전류를 효과적으로 제거할 수 있음이 판명되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Vlatko Vlatkovic, et. al, "Input filter design for power factor correction circuits", *APEC' 93*, Vol.2, pp. 954-958, 1993
- [2] 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
- [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