

## 무정전전원장치용 입출력 필터 특성 분석

이동주, 정석언, 이경석  
이화전기공업(주) 기술개발부

### Characteristic analysis of input and output filter for UPS system

Lee Dong Ju, Jung Seok Un, Lee Kyung Seok  
Ehwa Electric Co., Ltd. Korea

#### ABSTRACT

In this paper, configuration of prototype 300kVA UPS system with unity input power factor is briefly described and a various types of rectifier for UPS application are discussed. Input LCL filter for PWM rectifier and output LC filter for PWM inverter are designed as a prototype and their principal characteristics are discussed.

#### 1. 서론

최근의 정보통신산업의 급격한 발전과 더불어 각종 전산장비에 고신뢰도의 전원 공급필요성이 더욱 중요시되고 있는 실정이다. 여러 종류의 전력품질 개선 장치중에서 무정전전원장치(UPS; uninterruptible power supply)는 입력전원의 전압 또는 주파수 변동 또는 정전시에도 부하측에 안정적인 전압과 주파수를 갖는 전원을 비교적 긴 시간동안(일반적으로 30분 ~1시간) 연속해서 공급가능한 장비로써 그 수요가 증가하고 있는 실정이다.

기존의 SCR정류기를 내장한 UPS는 그 자체에서 입력전원측으로 역류하는 고조파가 많아서 인접한 부하장비에 나쁜 영향을 주며 이러한 역류 고조파를 줄이기 위해서는 추가로 수동필터를 설치해야 하므로 설치공간이나 경제적인 측면에서 불리하다. 특히 대용량으로 가면 갈수록 이러한 역류 고조파에 의한 영향은 더욱더 심각해진다. 그래서 별도의 수동필터가 없이도 입력측 역류 고조파를 최소화할 수 있는 PWM정류기를 내장한 UPS에 대한 수요가 점차 증가하고 있는 실정이다.

그래서 본 연구에서는 PWM정류기를 내장한 300kVA 대용량 UPS시스템의 전체적인 구성을 소개하고 기존 소용량 장비 개발시에 얻은 설계기준에 의해서 입력측 LCL필터와 출력측 LC 필터를

설계하였다. 그리고 입력특성(입력 역률, 입력전류 THD)과 출력전압THD에 주요한 영향을 주는 입력측 LCL 필터와 출력측 LC 필터의 특성을 검토하고자 한다.

#### 2. 무정전전원장치의 주요구성

##### 2.1 정류방식

기존의 UPS에 적용된 정류기는 SCR소자를 사용한 6펄스 정류기(그림 1(a)) 또는 12펄스 정류기(그림 1(b))가 일반적으로 사용되고 있다. 하지만 6펄스 정류기의 경우에는 입력측 전류 THD가 약 30%정도나 되고 12펄스 정류기의 경우에는 약10% 정도된다. 그리고 이러한 정류방식으로 정류된 dc-link전압에는 맥동성분이 많이 포함되어 있어 이를 직접 인버터측이나 배터리에 공급할 수 없어 반드시 dc-link측에 LC필터를 추가해야만한다. 또한 입력 전류THD를 5%미만으로 유지하기 위해서는 입력측에 5차, 7차, 11차, 13차 수동필터를 추가로 설치해야하는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 고조파 발생이 많은 정류기를 사용하는 경우에는 입력측에 비상용 발전기의 용량도 더욱 커야 한다. 일반적으로 6펄스 정류기의 경우, 정류기 용량의 약 2배 이상되는 비상용 발전기 용량이 필요한 단점을 가지고 있다.

반면에 그림 1(c)와 같은 PWM정류기는 IGBT소자를 사용해서 정류하는 방식으로 입력측 역률제어와 dc-link의 전압제어가 동시에 가능하며 입력역률을 99%이상으로 유지하면서 맥동이 매우 적은 dc-link전압을 얻을 수 있다. 그리고 추가적인 수동필터 설치가 없어도 입력전류THD를 5%미만으로 유지할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 1은 실제 대용량 UPS에 주로 적용되고 있는 6펄스 정류방식, 12펄스 정류방식, PWM 정류방식에 따른 각각의 입력전류 실측파형을 나타내고 있다.

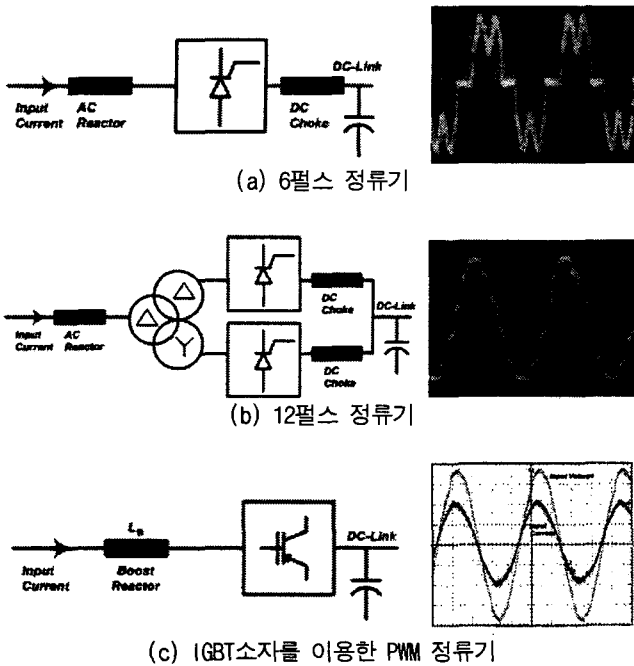


그림 1 정류방식에 따른 입력 전류 파형  
Fig. 1 Rectification type v.s input current waveform

## 2.2 300kVA 시제품 UPS 시스템의 구성

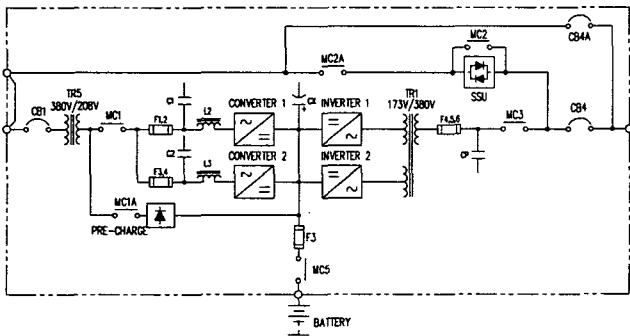


그림 2 300kVA UPS 시스템 구성  
Fig. 2 Configuration of 300kVA UPS system

그림 2는 300kVA 시제품 UPS시스템의 주요 내부 구성을 나타내고 있다. 150kVA용량을 갖는 정류부와 인버터부가 각각 2대 병렬운전하고 인버터 변압기를 통해서 부하측에 300kVA전원을 공급할 수 있도록 구성되어 있다. 정상운전시에는 인버터로 부하에 전원을 공급하지만 인버터의 내부 고장시를 대비해서 MC2-MC2A-SSU(static switch unit)로 구성된 바이패스 전원라인이 추가로 설치되어 있어 부하에 전원을 공급하는 도중에 인버터에 고장이 발생하더라도 부하측에 정전을 일으키지 않으면서 무순단으로 부하를 바이패스 전원측으로의 절체가 가능하다. 아래의 표 1은 300kVA 시제품 UPS시스템의 주요 입출력 사양을 나타내고 있다.

표 1 300kVA UPS 시스템의 입출력 사양  
Table 1 Input & output specification of 300kVA UPS system

항 목		설계 사양
입 력	정격 입력전압	3P4W 380VAC (-15~10%) 60Hz (+/-5%)
	입력 역률	99%이상 (100%부하시)
	입력전류 THD	5%이하
출 력	정격 출력전압	3P4W 380VAC (+/-1%) 60Hz (+/-0.1%)
	전압 안정도	1%
	출력전압THD	3%미만

## 3. 입출력 필터 설계 및 특성

### 3.1 입력측 LCL 필터

그림 2에서 L2, L3 리액터는 PWM 정류기가 208VAC 입력전압을 입력받아서 이를 승압시켜 405VDC의 dc-link전압을 까지 도달할 수 있도록 하는 역할을 한다. 이때 dc-link전압이 충분히 확보 되어야만 입력역률제어가 가능하여 입력측으로의 역류 고조파량을 제한할 수 있다.

일반적으로 PWM 정류기의 입력필터로는 그림 3(a)와 같은 L type 필터를 일반적으로 사용한다. 이 경우에 PWM 정류기의 스위칭 주파수 근방의 전류 고조파 성분을 충분히 제거하기 위해서는 인덕턴스값이 큰 승압용 리액터가 필요하다. 하지만 인덕턴스값이 큰 승압용 리액터를 사용하는 것은 경제적이지 못하며 PWM 정류기의 응답성을 낮아지게되는 단점을 가지고 있다.[1][2]

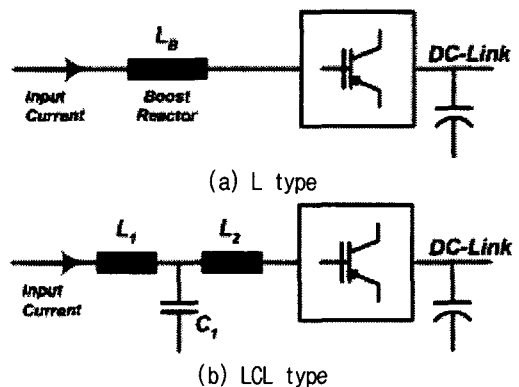


그림 3 PWM 정류기용 필터의 구성  
Fig. 3 Filter configuration for PWM rectifier

그래서 그림 3(b)와 같은 LCL type 필터를 적용하는 것이 바람직하다. 그림 3(b)에서 L2는 승압용 리액터이고 L1과 C1콘덴서는 PWM정류기로부터의 전류 고조파를 감쇠시키기 위한 필터로 동작한다. 승압용 리액터(L2)는 PWM정류기의 IGBT가 ON 되어 있는 동안 자기 에너지를 리액터에 저장했다

가 IGBT가 OFF되는 순간에 저장되었던 자기 에너지를 dc-link측으로 전달해서 dc-link전압을 일정전압까지 승압시킬 수 있도록한다. 이 승압용 리액터의 인덕턴스값에 따라서 입력 역률제어특성에 큰 영향을 주게된다. 이 리액터의 인덕턴스값을 너무 크게 설계하면 승압하는 측면에서는 유리하나 이 리액터에 의한 전압강하가 크고 PWM 정류기의 응답성이 느리게 된다. 그래서 이 승압용 리액터의 인덕턴스값의 선정이 중요한데 본 시스템에서는 기존에 소용량 UPS 시스템의 설계, 제작 경험에 근거해서 전원측 임피던스의 약 18%정도 되도록 승압용 리액터를 설계하였다. 그리고 시제품 UPS 시스템에서는 입력측 380V/208V 변압기 내부의 2차측 누설 리액턴스값을 이용해서 LCL type 필터의  $L_1$ 값을 대신하도록 설계되었다. 표 2는 시제품 UPS 시스템에 적용하기 위해서는 선정된 입력측 필터의 주요 설계값이다.

표 2 입력 필터의 주요 설계자료  
Table 2 Design data of input filter

항목		설계값
입력측 변압기 (TR5)	정격 전압	380/208VAC
	정격 용량	375kVA
	% 임피던스 [%]	5.99
	2차측 누설인덕턴스[uH]	30uH
필터용 콘덴서 (C1,C2)	정전용량 [uF]	357uF x 2개
승압용 리액터 (L1,L2)	인덕턴스 [mH]	0.11
	정격전류 [A]	540

### 3.2 출력측 LC 필터

그림 1에서의 인버터용 변압기(TR1)는 405VDC dc-link전압을 이용해서 PWM 인버터가 발생시킨 173VAC전압을 부하측에 적합한 380VAC로 승압시키서 부하측에 안정적으로 전원을 공급한다. 그리고 이 인버터 변압기는 부하측과 전원장치사이를 절연하는 역할을 하여 부하측의 순간적인 단락사고시, 직접적으로 인버터가 손상되지 않도록 하는 역할도 한다. 그리고 인버터 변압기의 2차측 누설 인덕턴스 성분과 변압기 2차측에 연결된 필터 콘덴서( $C_p$ )가 조합되어 출력측 LC필터로 작용하여 PWM 인버터로부터의 고조파 성분을 필터링해서 정전압, 정주파수를 갖는 전원을 부하에 공급한다. 병렬로 운전중인 150kVA인버터 2대로부터 전원을 공급받기 위해서 인버터 변압기는 150kVA용량의 1차권선( $\Delta$ -결선) 2개로 구성되어 있으며 2차측 권선은 300kVA용량을 가지며 zigzag (interconnected

star)결선으로된 인버터 변압기를 설계하였다. 표 3은 설계된 인버터 변압기와 출력 필터 설계값이고 그림 4는 설계된 출력측 LC 필터의 각 고조파에 대한 전압 감쇠율 특성이다.[3][4]

표 3 인버터 변압기 및 출력 필터 주요 설계자료  
Table 3 Design data of inv. transformer and output filter

항목		설계값
인버터 변압기 (TR1)	정격 전압	173/380VAC
	정격 용량	300kVA
	% 임피던스 [%]	5.21
	2차측 누설인덕턴스[uH]	87.5
필터용 콘덴서(Cp)	정전 용량 [uF]	1상당 6x250uF (Y-결선)
공진 주파수 [Hz]		439Hz

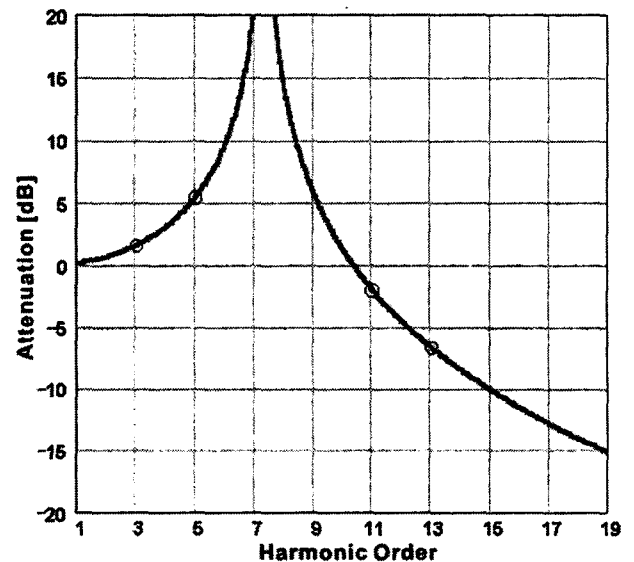
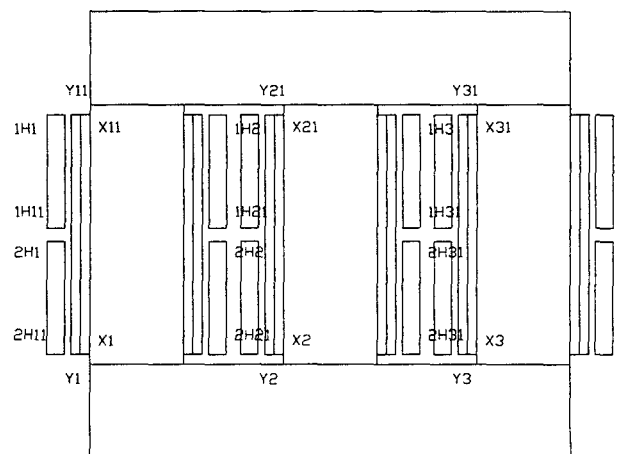
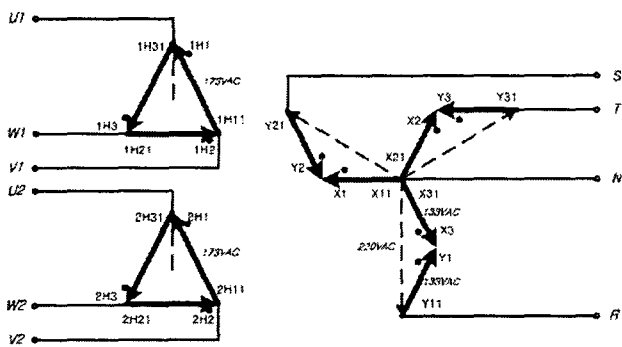


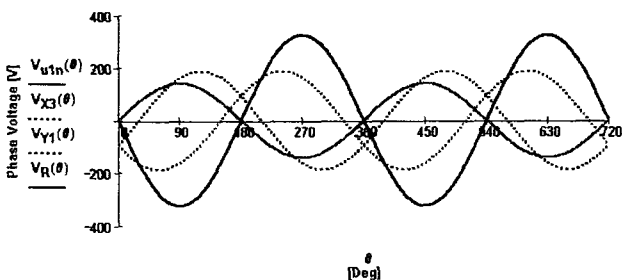
그림 4 출력 필터의 전압 감쇠율  
Fig. 4 Voltage attenuation of output LC filter.



(a) 1차, 2차 권선의 배치



(b) 1차, 2차 권선의 결선



(c) U1상 상전압  $V_{u1n}(\theta)$ 와 R상 상전압  $V_R(\theta)$  파형

그림 5 인버터 변압기의 권선배치 및 결선

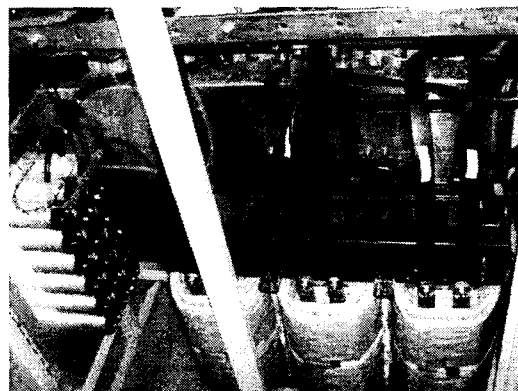
Fig. 5 Winding arrangement and its connection of inverter transformer

인버터 변압기는 그림 5(a)에서 보여지는 것처럼 1차측 권선( $\Delta$ -결선) 2조가 외측에 상,하로 감겨져 있으며 2차측 권선(zig-zag결선)은 내측에 감겨져 있으며 각각의 권선의 전압을 나타내면 그림 5(b)와 같이 나타낼 수 있다. 그림 5(c)는 변압기 1차측 U1상 전압과 2차측 R상 전압 파형을 나타내고 있는데, 변압기 1차측 전압과 2차측 전압간에는 180도 위상차가 있음을 알 수 있다. 이 위상차는 무정전원장치의 인버터와 바이패스사이의 동기제어시에 반드시 보상되어야 한다.

그림 6은 실제 제작된 300kVA UPS시스템의 외형 및 입력필터부와 출력필터부이다.



(b) 입력 필터부



(c) 출력 필터부

그림 6 제작된 300kVA UPS 시스템

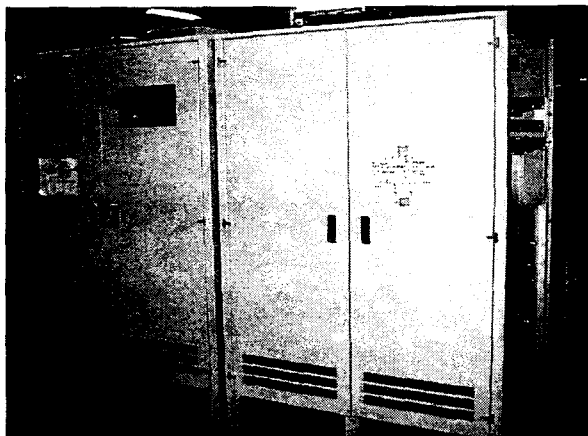
Fig. 6 Prototype 300kVA UPS system

#### 4. 결론

본 연구에서는 PWM 정류기를 내장하고 있어 입력역률제어가 가능하며 입력전류THD를 5%미만으로 최소화할 수 있는 300kVA UPS 시스템의 주요 구성을 소개하고 기타의 정류방식들과 그 장단점을 비교, 검토하였다. 또한 PWM 정류기의 입력측 LCL type 필터와 출력측 LC 필터를 설계하고 그 특성을 검토하였고 시제품에 적용하였다.

#### 참고 문헌

- [1] M. Lindgren and J. Svensson, "Control of a voltage-source converter connected to the grid through an LCL-filter-application to Active Filtering", IEEE PESC'98 Rec. Vol. 1, pp.229-235, 1998
- [2] M. Liserre, Frede Blaabjerg and S. Hansen, "Design and Control of an LCL-filter based Three-phase Active Rectifier", IEEE, 2001.
- [3] A. Kusco and D. Galler, "Output Impedance of PWM UPS Inverter Feedback vs. Filters", in Conf. Rec. IEEE PESC'90, pp.1004-1048, 1990.
- [4] F. Botteron, H. Pinheiro, Hilton A. Grundling, Jose R. Pinheiro and Helio L. Hey, "Digital Voltage and Current Controllers for Three-Phase PWM Inverter for UPS Applications", IEEE, 2001.



(a) 300kVA UPS 외형