2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

대용량 무정전전원장치용 자성부품 설계 및 특성 분석

이동주*, 이은웅*, 김용헌*
충남대학교 전기공학과*

Design and analysis of magnetic components for high power UPS system

Lee Dong Ju*, Lee Eun Woong*, Kim Yung Hun*
Chungnam National University*

Abstract - The aim of the paper is to introduce the high power UPS with unity input power factor and to analyze the its major magnetic components.
Inductance and flux density of 3 phases boost reactor is obtained by finite element method and compared with its expermental result. Also, basic characteristic of inverter transformer is inverstigated.

1. 서 론

최근의 정보통신산업의 급격한 발전과 더불어 각종 전산장비에 고신뢰도의 전원 공급필요성이 더욱 중요시되고 있는 실정이다. 여러 종류의 전력품질개선 장치중에서 무정전전원장치(UPS; uninterruptible power supply)는 입력전원의 전압 또는 주파수 변동또는 정전시에도 부하측에 일정한 전압과 주파수를 갖는 신뢰성있는 전원을 비교적 긴 시간동안(일반적으로 30분 ~1시간) 연속해서 공급가능한 UPS는 그 자체의 신뢰성이 부하측 전산장비의 신뢰성에 직접적으로 연관되어 있다.

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 불리한다. 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 증가하고 있는 실정이다.

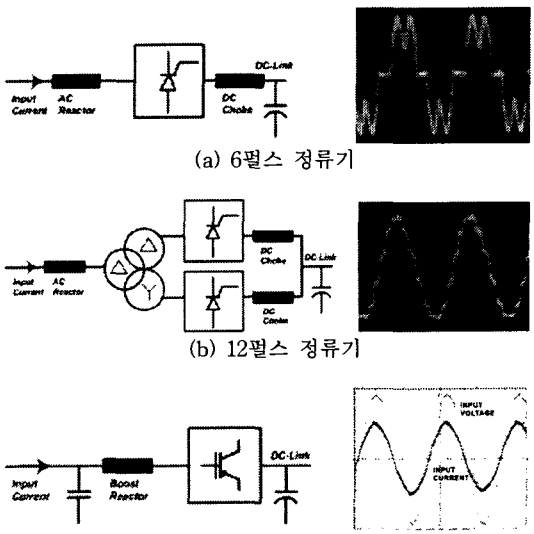
그래서 본 연구에서는 PWM정류기를 내장한 대용량 UPS 시스템의 소개하고 입력특성(입력 역률, 입력전류 THD)과 출력전압THD에 큰 영향을 주는 입력측의 승압용 리액터와 인버터 변압기의 특성을 검토하고 시제품으로 설계, 제작된 리액터와 변압기로부터 측정된 결과와 비교, 검토하고자 한다.

2. 무정전전원장치 구성 및 주요 자성부품

2.1 정류방식 비교 및 시스템 구성

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 약30%정도나 되고 12펄스 정류기의 경우에는 약10%정도된다. 이러한 정류방식으로 정류된 dc-link전압에는 맥동성분이 많이 포함되어 있어 이를 직접 인버터측이나 밧데리측에 공급할 수 없어 반드시 dc-link측에 LC필터를 추가해야만한다. 그리고 입력 전류THD를 5%미만으로 낮추기 위해서는 입력측에 5차, 7차, 11차, 12차 수동필터를 추가로 설치해야하는 단점을 가지고 있다. 또한 고조파 발생이 많은 정류기를 사용하는 경우에는 입력측에 비상용 발전기의 용량도 더욱 커야한다. 일반적으로 6펄스 정류기의 경우, 정류기 용량의 약 2배이상되는 비상용 발전기 용량이 필요하다.

반면에 그림 1(c)와 같은 PWM정류기는 IGBT소자를 사용해서 정류하는 방식으로 입력측 역률제어가 가능하여 입력역률을 99%이상으로 유지할 수 있으며 추가적인 수동필터 설치가 없어도 입력전류 THD를 5%미만으로 제어가 가능하다. 이러한 장점 때문에 PWM정류기를 내장한 UPS에 수요가 증가하고 있다.



(a) 6펄스 정류기

(b) 12펄스 정류기

(c) IGBT소자를 이용한 PWM 정류기

그림 1 정류방식에 따른 입력전류 측정파형
Fig. 1 Rectification type v.s input current waveform

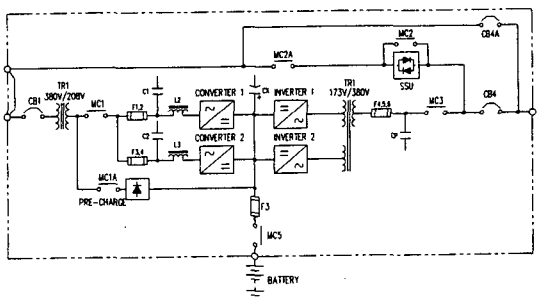


그림 2 300kVA UPS의 내부 구성
Fig.2 Configuration with 300kVA UPS

그림 2는 300kVA UPS의 주요 내부 구성을 나타내고 있으며 150kVA용량을 갖는 정류부와 인버터부가 각각 2대 병렬운전하고 인버터 변압기를 통해서 부하측에 300kVA전원을 공급할 수 있도록 구성되어 있다. 그리고 정상운전시에는 인버터로 부하에 전원을 공급하지만 인버터의 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 UPS의 주요 성능사양을 나타내고 있다.

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

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

2.2 승압용 리액터(L2, L3)의 설계

그림 1에서 L2, L3 리액터는 PWM 정류기가 208VAC 입력전압을 승압시켜 dc-link전압을 405VDC까지 도달할 수 있도록 하는 역할을 하며 이 dc-link전압이 충분히 확보되어야만 입력역률제어가 가능하여 입력측으로의 역류고조파량을 제한할 수 있다. 이 승압용 리액터는 PWM정류기의 IGBT가 ON되어 있는 동안 자기에너지를 리액터에 저장했다가 IGBT가 OFF되는 순간에 저장되었된 자기 에너지를 dc-link측으로 전달해서 dc-link전압을 일정전압까지 승압시킬 수 있도록하는 역할을 한다. 따라서 이 리액터의 인덕턴스값에 따라서 입력 역률제어특성에 큰 영향을 주게된다. 이 리액터의 인덕턴스값을 너무 크게 설계하면 승압하는 측면에서는 유리하나 이 리액터에 의한 전압강하가 크게 된다. 따라서 이 리액터의 용량선정이 중요한데 본 시스템에서는 전원측 임피이던스의 약 18%정도 되도록 승압용 리액터를 설계하였으며[1] 표 2는 승압용 리액터의 설계결과 데이터이다.

표 2 승압용 리액터의 설계자료
Table 2 Design data of boost reactor (L2, L3)

항 목		설계 사양
전기적 특성	인덕턴스 [mH]	0.11
	정격전류 [A]	540
	전압강하 [V]	22.39
Core	Core 積 [mm]	145
	Core Leg [mm]	65
	Core 재질	PG-10, 0.3T
	Window size [mm]	60 x 170
	자속밀도 [Tesla]	1.34
	Gap [mm]	1.52T x 2 (상하 2개소)
권선	도체 재질, 크기[mm] 및 배치	AL 1.0 x 150 (2H 1W)
	턴수	7
	전류밀도 [A/mm2]	1.8

2.3 인버터 변압기(TR1)의 설계

그림 1에서 TR1으로 표시된 인버터용 변압기는 PWM정류기 출력측 405Vd전압을 이용해서 PWM인버터가 발생시킨 173VAC전압을 부하측에 적합한 380VAC로 승압시키며 부하측에 안정적인 전원을 공급한다. 또한 이 인버터 변압기는 부하측과 전원장치간의 완전한 절연역할을 하여 부하측의 순간적인 단락 사고시, 직접적으로 인버터가 손상되지 않도록하는 역할도 하며 변압기 2차측에 연결된 필터 콘덴서(Cp)와 함께 출력 필터로 작용하여 PWM인버터로부터의 고조파 성분을 완벽하게 필터링해서 정전압, 정주파수 전원을 부하에 공급할 수 있도록 한다. 150kVA 인버터 2대로부터 전원을 공급받기 위해서 150kVA용량의 1차권선(Δ-결선) 2개로 구성되어 있으며 2차측 권선은 300kVA용량을 가지며 zig-zag 결선으로 된 인버터 변압기를 설계하였고[2] 그 설계결과를 정리하면 표 3과 같다.

표 3 300kVA 인버터 변압기의 설계자료
Table 3 Design data of 300kVA inverter transformer

항 목		설계 사양
Core	Core 積 [mm]	200
	Core Leg [mm]	140
	Core 재질	PG-10, 0.3T
	Window size [mm]	150 x 390
	자속밀도 [Tesla]	1.36
1차 (외측) 권선	정격 전압 [V]	173
	정격 전류 [A]	289
	권선 턴수 [turns]	18
	도체 재질, 크기 [mm]	Cu Foil 1 x 160
	전류 밀도 [A/mm^2]	1.7
2차 (내측) 권선	정격 전압 [V]	133
	정격 전류 [A]	433
	권선 턴수 [turns]	14
	도체 재질, 크기 [mm]	Cu Foil 0.7 x 360
	전류 밀도 [A/mm^2]	1.72
전기적 특성	Vector Group	Dyzn6
	%R	1.73
	%X	4.91
	%Z	5.21
	효율 [%]	98.06
	전압변동율 [%]	1.85

3. 승압용 리액터의 특성 해석

3.1 해석 모델

표 2와 같이 설계된 승압용 리액터를 유한요소법으로 해석하기 위해서 MagNet 소프트웨어를 활용해서[3] 그림 3과 같은 초기 요소망을 적용하여 해석하였다.

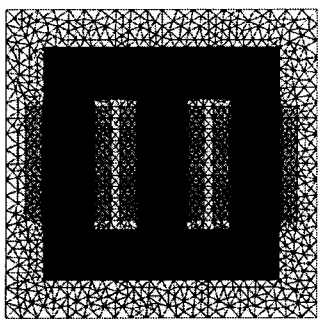


그림 3 초기 요소망
Fig. 3 Initial mesh

3.2 해석 결과

그림 3의 유한요소모델을 이용해서 승압용 리액터 철심내의 자속분포를 구하면 그림 4와 같다. 그리고 이 유한요소해석 결과를 이용해서 인덕턴스 값을 구하면 약 0.1217[mH]가 되는데, 이를 측정결과와 비교하면 표 4와

같다. 표 4에서 설계치가 0.11[mH]이고 제작된 승압용 리액터의 인덕턴스 측정치가 0.111[mH]인 것에 비교할 때, 해석결과에는 약 10%정도의 오차가 있다. 이 오차는 설계시, gap길이는 1.52[mm]이었지만 인덕턴스값을 0.11 [mH]로 맞추기 위해서 제작하는 과정에서 gap길이가 2.0[mm]로 조정되었고 gap부근에서의 계산오차로 인한 것이다.

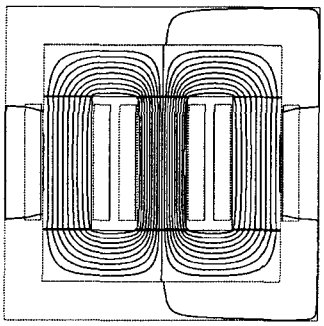


그림 4 자속 분포
Fig.4 Flux distribution

표 4 해석결과
Table 4 Obtained result

항 목	설계치	해석결과	측정결과
전압강하[V]	22.4V@540A	-	22.6V@540A
인덕턴스[mH]	0.11	0.1217	0.111

4. 인버터용 변압기의 특성해석

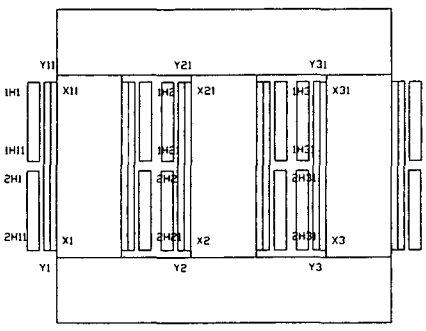
3.1 인버터 변압기의 Zig-zag 결선

인버터 변압기는 그림 5(a)에서 보여지는 것처럼 1차측 권선(Δ-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.

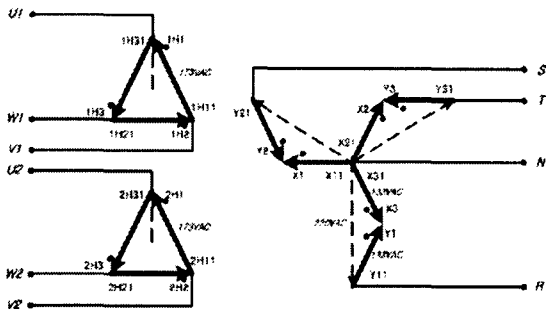
그림 5(c)는 변압기 1차측 U1상 전압과 2차측 R상 전압 파형을 나타내고 있는데, 변압기 1차측 전압과 2차측 전압간에는 180도 위상차가 있음을 알 수 있다. 이 위상차는 무정전원장치의 인버터 제어시 반드시, 보상되어야 한다.

3.2 해석결과

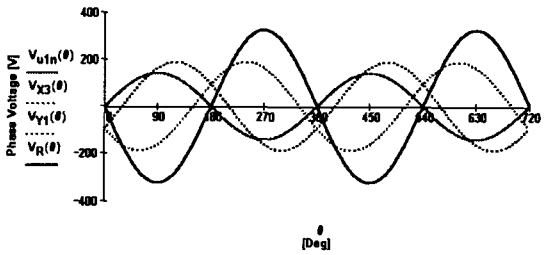
그림 6은 인버터 변압기를 해석하기 위한 초기 요소망이이고 이 해석모델로부터 무부하시, 자속분포를 구하면 그림 7과 같다.



(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 권선 및 결선
Fig.5 Winding arrangement and its connection of inverter transformer

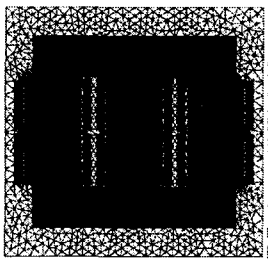


그림 6 초기 요소망
Fig. 6 Initial mesh

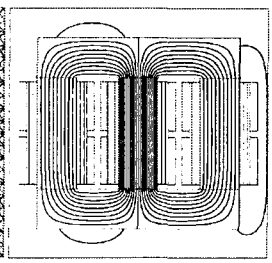


그림 7 자속 분포
Fig. 7 Flux distribution

5. 결 론

본 논문에서는 대용량 무정전전원장치에 적용된 PWM정류기와 인버터 제어에 중요한 역할을 담당하는 승압용 리액터와 인버터용 변압기의 특성을 개략적으로 검토하였다.

승압용 리액터를 유한요소법으로 해석하여 구한 인덕턴스값을 실측값과 비교, 검토하였다. 그리고 zig-zag결선된 인버터 변압기의 권선배치와 그에 의한 입출력 전압 위상차를 검토하였고 유한요소법으로 자속분포를 해석하였다. 이러한 해석결과를 기초로 PWM컨버터의 입력필터와 인버터측 출력필터 설계시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

[1] Colonel Wm. T. McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook, Second Edition, Revised and Expanded", Marcel Dekker, Inc. Chapter 8, 1988.

[2] S. Austen Stingant and A.C. Franklin, "The J&P Transformer Bok", Butterwork & Co (Publishers) Ltd.. pp.196~204, 1973.

[3] "MagNet version 6 User Guide", Infolytica Corporation, 1998.