

고신뢰성 무정전전원 시스템의 기술현황

이근철

제일설계(주) 기술고문 · 공학박사

머리말

무정전전원장치(UPS)는 고도화된 정보화 사회에서 점차 불가결한 것이 되었으며, 시스템은 대규모화 되어 가고 있다. UPS는 은행 등과 같은 금융기관의 온라인용 전원을 비롯해서 PC나 워크스테이션, LAN 등의 OA분야에 널리 보급되고 있고 또한 반도체 제조라인, 화학플랜트의 계장 시스템 등의 정전 예방, CAD/CAM, 공장 기계, 산업용 로봇, 생산관리시스템 등의 FA분야 등에도 이용되고 있다.

본고에서는 대용량 무정전전원장치의 시스템 구성과 고신뢰성 및 용량의 선정, 시스템용 축전지의 요구사항 및 UPS 문제점에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

1. 무정전전원시스템의 개요

무정전전원시스템(UPS)은 상용전원설비, 발전설비, 축전지, 교류/직류변환장치, 직류/교류변환장치, 전환회로, 순간정전이 없는 轉換回路 및 간선 등으로 구성된다.

축전지의 접속방법으로는 浮動充電方式과 직류스위치의 2종류가 있다. 부동충전방식에서는 컨버터가 충전기 겸용으로 인버터에 급전과 동시에 축전지를 충전하므로 구성이 간단하다. 직류스위치방식에서는 전용 충전기로 축전지를 충전하므로 정전시에는 사이리스터식의 직류스위치를 통해서 운전을 계속하는 방식이어서 구성은 약간 복잡하다.

기존의 부동충전방식의 컨버터는 사이리스터를 사용하므로 고조파와 입력용량이 크며, 대용량 UPS는 컨버터에 다이오드를 사용하는 직류 스위치 방식이 주류를 이루었으나 최근에는 컨버터에 고속스위칭 소자인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하고 PWM제어를 함으로써 입력역률은 거의 1로 하고 입력고조파 전류도 5% 이내로 줄여서 정현파 입력형의 컨버터를 실용화하고 있다. 대용량 UPS에 대해서도 정현파 컨버터를 사용한 부동충전방식이 주류를 이루고 있다.

가. 무정전전환시스템의 구성

UPS시스템은 단일시스템과 병렬시스템으로 구별된다. 또한 바이패스회로와의 전환은 배선용차단기 또는 컨덕터에 의한 온-오프 전환과 사이리스터 스위치에 의한 無瞬斷 전환으로 분류된다. 현재는 바이패스 회로에서는 무순단 전환으로, 유지보수시에도 부하급전을 가능(단상용급전)하게 하고 운용면에서 융통성을 높이기 위해 유지보수 바이패스 회로를 설치하는 것이 일반적이다.

(1) 단일 시스템

UPS 한 대로 구성되며 기본구성시스템은 그림 1-(a)와 같다.

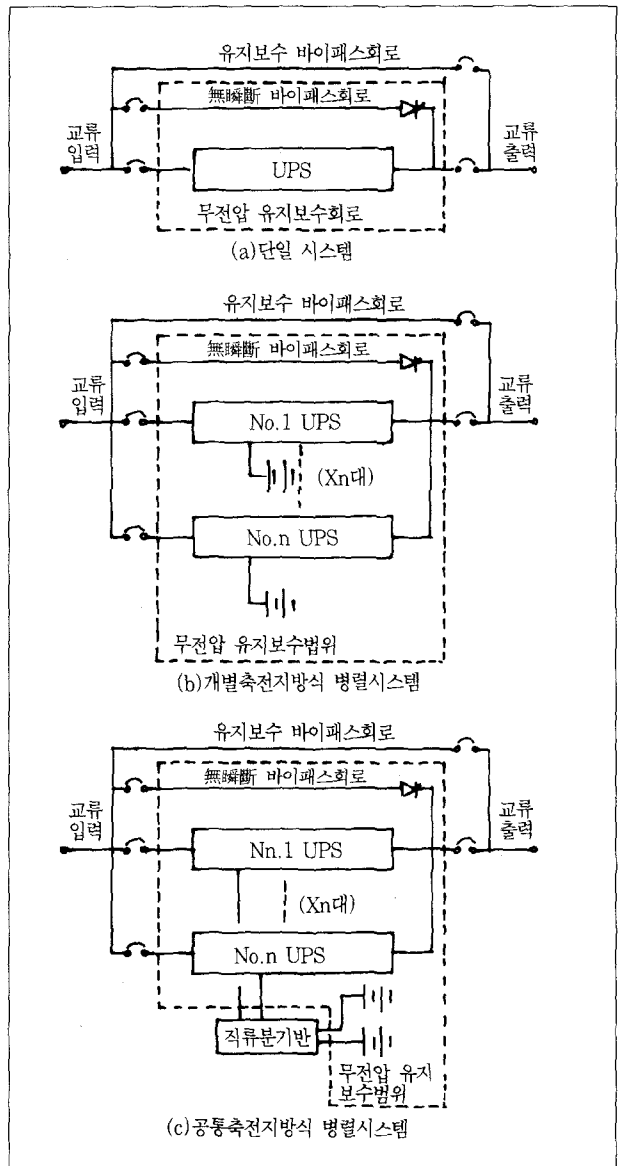
항상 UPS의 출력에서 부하급전을 하고 UPS가 고장 나거나 또는 유지보수시에는 무순단으로 바이패스 회로로 전환한다. 또한 바이패스 轉換盤의 유지보수를 위해서 유지보수 바이패스 회로를 설치하고 24시간 365일 부하급전이 가능한 시스템이다.

(2) 병렬 시스템

부하 시스템의 대형화(UPS단기 최대용량은 1,000kVA)와 높은 시스템 신뢰성이 요구되는 경우에는 단일 시스템으로는 한계가 있기 때문에 병렬 용장 시스템(Parallel Redundant System) UPS를 채택할 필요가 있다.

병렬용장시스템이란 예비기를 포함한 상시 복수대로서 병렬운전을 하고 한 대가 고장 또는 유지보수 등으로 정지된 경우에도 나머지 기기로서 전부하 급전을 계속하는 시스템이다. 만약 한 대가 고장으로 정지했을 때는 무순단으로 바이패스 회로로 전환하는데 이 경우 유지보수를 위해 유지보수바이패스회로를 설치하는 시스템이다.

개별 축전지 방식 병렬시스템인 경우는 그림 1-(b)와 같고 공통 축전지 방식의 병렬시스템인 경우 그림 1-(c)과 같다. 개별 축전지 방식에서는 UPS가 정정보상시간분의 축전지 설비를 각각 갖는데 대해서 공통 축전지 방식은 시스템으로서 필요한 축전지 용량만 가지면 되므로 결과적으로 축전지 용량을 저감할 수 있고 直流分岐盤



〈그림 1〉 UPS 기본 구성

이 증가하여도 경비를 절감할 수 있다. 한편 축전지를 교체할 때에도 공통 축전지 방식에서는 이탈 축전지분의 부하용량 삭감이 필요하지만 개별 축전지방식에서는 부하 시스템 용량을 저감시키지 않고 순차적으로 교환할 수 있으므로 직류모선이 각각 독립되어 있는 이점이 있다.

(가) 병렬형 리던던트 방식

리던던트(Redundant : 冗長) 시스템은 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 백업(Back-up)장비를 어떻게 연결하는가에 따라서 병렬형(Parallel)과 독립형(Isolated)으로 나눈다.

병렬형 리던던트 방식에서는 각 UPS 모듈이 공통으로 부하에 연결되어 모듈 A, B가 부하 분담 상태에서 운전된다. 만약 UPS 모듈 A가 고장나면 모듈 A의 부하는 큰 혼란없이 자동적으로 UPS 모듈 B로 전환된다. 이 점에서는 신뢰성이 양호한 반면 UPS 출력에 부하에 공통으로 연결되어 있어 한 개의 부하가 단락되었을 때 다른 부하가 영향을 받게 되며 특히 415Hz 주파수 적용시에는 상용전원의 바이패스가 불가능하다.

(나) 독립형 리던던트 방식

독립형(Isolated) 리던던트 방식은 각 UPS 모듈의 출력이 별도의 부하장비에 공급되므로 각각의 부하는 각각의 UPS 모듈로부터 전원이 공급되어 부하 전반의 고장이 발생하지 않는다. 즉 부하가 분리되어 하나의 부하가 다른 부하에 영향을 주지 않기 때문에 높은 신뢰성을 준다.

또 독립형 리던던트 방식은 병렬형 리던던트 방식에서 발생하는 부하전반의 고장을 제거시키는 장점이 있다.

2. UPS와 신뢰성 이론

UPS는 신뢰성 이론면에서 일종의 修理系(保全系)로 생각할 수 있다. 수리계에 있어서 신뢰성의 평가는 표 1과 같이 신뢰도, 보전도, 가동도의 3가지 지표로 나타낸다. 고장률(λ) 등의 신뢰도로 나타내는 경우가 많다.

컴퓨터나 통신기기용 전원으로서 UPS에 24시간 365일 무정전 운용(부하급전)으로 구해지는 경우가 많고 連續給電性의 지표로서 稼働度(Availability) 평가도 중요하다. 한편 신뢰성의 평가와는 약간 다르나 설비를 보수할 때 부하급전을 계속할 수 있도록 유지보수 바

〈표 1〉 신뢰성 평가의 지표

평가지표	평가치의 관계	정 의
신뢰도 (Reliability)	$MTBF=1/\lambda(HR)$	MTBF: Mean Time Between Failures (평균고장간격) λ : 고장률(단위시간당의 고장확률)
보전도 (Maintenability)	$MTTR=1/\mu(HR)$	MTTR: Mean Time to Repair (평균수리시간) μ : 수복률(단위시간당의 수복확률)
이동도 (Availability)	$\mu/\lambda + \mu = MTBF/MTTR + 1$	(특정순간에 기능을 유지하고 있는 확률)

UPS에 있어서 고장의 정의: 전원상황에 의해 부하의 운용에 지장이 발생하는 것 (전압상실, 순단, 변동, 주파수변동 등)

이패스의 설치 등 연속급전의 수요에 대한 시스템 구성상의 대책도 중요하다.

또한 표1과 같이 UPS에서는 출력전압의 상실(정전) 뿐만 아니라 순간적인 정전이나 큰 전압변동 등에도 부하기기에 장애를 주면 기능상 고장으로 간주한다. 각종 시스템의 구성목적은 특정회로나 UPS단체의 고장에 대해서도 기능면에서 고장에 이르지 않도록 페일 세이프(Fail Safe)로 구성된다.

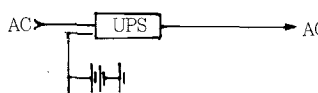
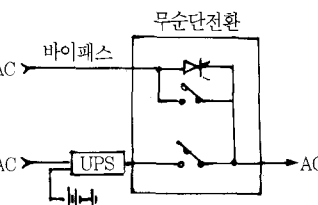
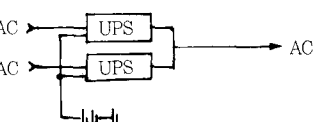
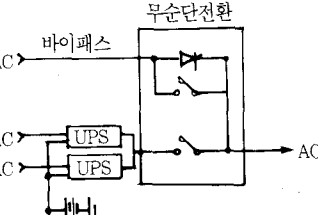
3. 시스템 고장률과 신뢰도 평가

표 2는 여러 시스템의 적용 예와 각 시스템에 대한 고장률의 수식 및 MTBF의 상대비교를 나타낸다. 상용바이패스나 병렬용장(Parallel Redundant System) 등의 백업을 설치함으로써 신뢰도를 2배 이상 올리고 있다. 백업을 갖는 시스템에서는 시스템 고장률 중에서 λ_p 나 λ_T 등의 공통부에 대한 고장률의 저감이 매우 중요하다.

표2의 계산식 중에서 각 고장률은 통상 각각 구성요소의 고장률과 회로동작을 고려해서 해를 구하나 운용실적을 보면 계산값은 크게 상회하고 있다.

병렬용장 시스템에서는 1대의 용장(예비)방식으로 최대 6대 정도 이하의 시스템 구성이 많으나, 대규모 전산센터의 출현에 의해 2대의 용장방식이나 6대를 초과하는 병렬용장 운전시스템도 계획되고 있다.

〈표 2〉 시스템 구성에 의한 신뢰도 비교

기본시스템 구성	MTBF의 비교
<p>단기(單機)시스템</p>  <ul style="list-style-type: none"> UPS의 기본적인 기능(무정전화, 전압, 주파수의 안정화, 입출력의 절연, 주파수변환)을 갖는다. 축전지 없이 정전정지형으로 하여도 가능하다. 	$\lambda_{SY} = \lambda_{CV}$ $MTBF_{SY} = 1/\lambda_{SY} = 1/\lambda_{CV}$
<p>단기·바이패스 무순단전환 시스템</p>  <ul style="list-style-type: none"> UPS는 상시상용 바이패스와 동기(同期)하여 운전한다. 만일 UPS의 고장이나 부하측 과전류일 때 상용바이패스로 무순단전환(無順序轉換)한다. 	$\lambda_{SY} = \lambda_{CV} \cdot P_T + P_{SP} + \lambda_T$ $MTBF_{SY} = 1/\lambda_{SY} \approx 15 \sim 17 \times MTBF_{CV}$
<p>병렬용장 시스템</p>  <ul style="list-style-type: none"> 상시 2대 이상의 UPS를 병렬 운전하고 부하는 UPS 대수-1의 용량으로 하여 용장성을 갖게 한다. UPS 고장시에는 고장난 UPS만 선택 차단하고 건전한 UPS로서 부하급전을 계속한다. 	$\lambda_{SY} = n \cdot (n-1) \cdot \lambda_{CV}^2 \cdot D_{CV} + \lambda_P$ $MTBF_{SY} = 1/\lambda_{SY} \approx 20 \sim 60 \times MTBF_{CV}$
<p>병렬용장, 바이패스 무순단전환 시스템</p>  <ul style="list-style-type: none"> 병렬용장 시스템에 상용바이패스와 무순단전환회로를 설치한 것으로서 부하측의 과전류에 대해서도 상용 바이패스를 전환시켜 전원을 공급할 수 있다. UPS 2대 이상이 정지할 때에도 바이패스 무순단이 가능하다. 	$\lambda_{SY} = \{n \cdot (n-1) \cdot \lambda_{CV}^2 \cdot D_{CV} + \lambda_P\} \cdot P_T + \lambda_{SP} \cdot P_{SP} + \lambda_T$ $MTBF_{SY} = 1/\lambda_{SY} \approx 80 \sim 110 \times MTBF_{CV}$

▲ 기호의 설명

- λ_{SY} : 시스템의 고장률
- λ_{CV} : 장치의 고장률
- λ_{SP} : 상용바이패스전류의 고장률
- λ_P : 병렬시스템 공통요소의 고장률

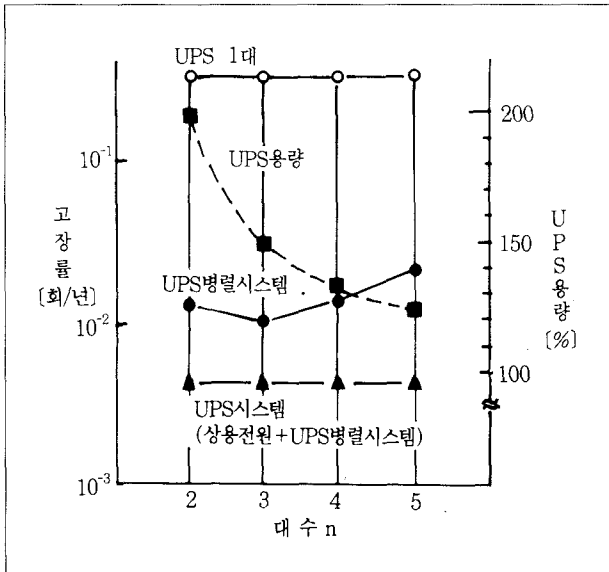
- λ_T : 전환시스템 공통요소의 고장률
- P_T : 전환불가 또는 순단전환이 될 확률
- P_{SP} : 상용급전이 될 확률
- D_{CV} : 서픽스 조건의 다운 타임
- $MTBF_{CV}$: 서픽스 조건의 MTBF

병렬운전 대수와 고장률의 관계는 운전대수가 많으면 많을수록 구성회로 부품수도 증가하여 고장이 일어날 확률도 높아지게 된다. 최근 UPS는 부품수를 감소시키기 위해 노력하고 있으나 운전대수에 비례하는 경향은 변함이 없다. 이외에 입출력부와 같은 공통요소도 매우 중요하다(그림 2 참조).

한편 UPS의 필요조건을 고려할 때 성능이나 기능을

생각하면서 주변설비기기의 고신뢰성을 구하는 것이 특징이다. 특히 컴퓨터 등의 백업전원으로 사용되는 UPS는 부하기기의 동작안전성 향상을 도모하여야 하므로 전압·주파수의 안정화 등의 기능을 갖추어야 하며 상용전원이나 부하기기보다 높은 신뢰성이 있어야 한다.

UPS의 신뢰도는 부하시스템의 공공성이나 중요도 등과는 달라 정량화될 수 없으나, 사용목적에 고려하면 상



〈그림 2〉 UPS 대수와 고장률

대적으로는 부하기기보다 한 자리 이상 높은 신뢰도를 구하는 것이 좋다. 이와 같이 높은 신뢰도를 실현하기 위해서는 UPS의 부품이나 기기의 신뢰도 향상 이외에 시스템 구성방식의 연구로서 요구하는 신뢰도의 실현을 도모하는 것이 일반적이다.

UPS는 컴퓨터와 같이 반도체를 응용한 전자기기로서 안정된 운용을 위해서는 온도, 습도 등 사용환경의 관리나 안정동작을 유지하기 위한 접지전위의 확보 등 컴퓨터를 비롯한 일반전자기기와 똑같은 배려가 필요하다.

또한 UPS를 비롯한 주변기기의 고신뢰화를 고려하여 시스템의 신뢰성, 운용의 신뢰성 및 기기의 신뢰성 등과 같은 사항을 구체적으로 검토해야 할 것이다. 어느 것이나 신뢰성이 높은 시스템 운용을 유지하기 곤란하나 기기의 제조, 시험, 공사, 운용 및 보전 등을 포함한 종합적인 엔지니어링이 필요할 것이다.

4. UPS 용량의 선정

UPS용량은 단순히 부하용량의 합계 뿐만 아니라 UPS의 출력성능과 부하조건에 대해서도 검토하여야 한다.

가. 정상용량

부하시스템은 다수의 기기로 구성되어 있으나 이들 전체의 기기가 동시에 동작하는 일은 드물기 때문에 일반적으로 부하시스템의 수요율을 고려하는 경우가 많다. 다만 차후 부하의 증설에 맞는 여유를 고려하여야 하며 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$Pc \geq a \times K \times \sum PK \dots \dots \dots (1)$$

Pc : UPS용량(KVA)

a : 여유율(1.2~1.3)

K : 수요율(0.6~0.9)

PK : 부하기기의 입력용량(kVA)

식(1)은 대체로 부하기기가 정해져 있는 경우에 유효하다. 그러나 전자계산기 센터 등의 계획시에는 장기적인 범용 컴퓨터에 대해 입력용량의 적산이 곤란하기 때문에,

$$Pc \geq \beta \times s \dots \dots \dots (2)$$

β : 단위 면적당 소비전력

(0.6~1.0kVA/m²)

s : 컴퓨터실 면적(m²)

에 대해서도 UPS용량을 검토하는 것도 있다.

나. 과전류내량

일반적으로 부하의 시동전류는 정상전류의 수십배에 달하는 것이 있어 통상 부하를 순차적으로 투입한다. 이때 부하의 시동전류가 UPS의 과전류내량 이내에 있도록 UPS의 용량을 선정한다. 과전류내량의 한 예로서 125% 이하 10분 또는 150% 이하 1분으로 정해져 있고 아울러 계단식으로 되어 있다. 이것을 초과하는 경우 UPS는 보호회로가 동작하고 바이패스회로에서 무순단 전환을 한다.

또한 UPS의 2차측에 변압기가 있는 경우 突入電流에 대해서도 고려하여야 한다. 변압기를 신설하는 경우 자속밀도를 낮게 하고 돌입전류를 억제하는 특수변압기로 하여야 한다. 이와 같이 모터 등의 회전기 부하인 경우에

도 부하를 상승시키고 수동으로 UPS급전으로 전환하는 것도 가능하다.

다. 피크전류, 전압 불평형 및 부하역률

최근 부하기기의 전원으로서 콘덴서입력형의 스위칭 레귤레이터가 다수 사용되고 있으며 전류파형은 고조파 전류를 포함한 파고율(Crest Factor)이 큰 전류가 된다.

$$\text{파고율} = \text{파고치/실효치} \dots\dots\dots(3)$$

(선형부하인 경우 : 1.41)

일반적으로 컴퓨터인 경우 파고율은 3상 기기에서는 1.6~2.0, 단상 기기인 경우 2.0~3.0이 되며 비선형 부하의 증대가 UPS의 출력전압 파형을 왜곡시키는 요인이 된다.

부하는 다수의 기기로 구성되어 있고 전원은 3상과 단상의 두 종류가 필요하므로 3상출력의 UPS인 경우 단상부하의 비율에 의해 부하전류에 불평형이 발생하고 UPS의 출력선간전압이 불평형이 되는 경우가 있다. UPS의 출력용량(kVA)은 인버터 출력성능으로 결정되는데 부하역률이 양호하면 100% 출력이 나오는 경우가 있고 부하역률 1.0으로 부하용량을 60%~70%로 저감할 필요가 있다.

최근 들어서는 인버터부에 고속 스위칭 소자인 IGBT를 사용한 고주파 PWM제어를 하며 출력전압의 순시치 응답화를 도모하고 피크전류, 전압불평형을 및 부하역률에 대해서는 이제까지의 파워트랜지스터를 사용한 UPS보다도 한층 성능이 향상되어 부하접속조건이 매우 간단하게 되었다.

라. 축전지

축전지에 의한 정전보상시간은 부하시스템의 계획정지 및 비상용 발전기의 유무에 의해서 결정되며 일반적으로 5분~10분으로 되어 있다. 축전지는 가격, 수명, 설치환경 및 유지보수성 등을 종합적으로 평가하여 선정한다 (표 3 참조).

5. 무정전 전원시스템의 문제점

가. 고조파

반도체를 사용한 무정전 전원장치는 정류회로로부터 표 4와 같은 고조파가 발생한다. 이것은 정전시 발전기에 유입하여 제동권선에 큰 영향을 주며 소손에 이르게

〈표 3〉 축전지의 종류

비교항목	고효율 방전용 연속전지(HS형)	알칼리 축전지형	음극흡수식 연속전지	전용 소형시일 연속전지
수 명	5~7년	12~20년	7~9년	4~5년
설 비 비	100	300	140	75
점유면적	100	80~90	70~85	55~65
중 량	100	60~80	70~80	40~60
축전지식의 유무	필요(단, 강관제 큐비클에 수납한다면 불필요)	필요(단, 강관제 큐비클에 수납한다면 불필요)	필요(단, 강관제 큐비클에 수납한다면 불필요)	필요(단, 강관제나 큐비클에 수납한다면 불필요)
수소가스의 발생	있음	있음	없음	없음
충전상태의 측정	수시비중 측정에 의한다	실제 방전시커서 측정	순시 전압측정에 의한다	순시 전압측정에 의한다
액체교환 활성화	불필요	약 7년마다 필요	불필요	불필요
보 수(補水)	1년에 1회(단, 시일형은 3~6개월에 1회)	좌측과 동일함	불필요	불필요

(주) 축전지 증별에 관계없이 소방법에 의해 환기 설비는 필요하다.

〈표 4〉 정류회로에서 발생하는 고조파

정류펄스 수	고조파 전류(%)							
	제 5조파	제 7조파	제 11조파	제 13조파	제 17조파	제 19조파	제 23조파	제 25조파
6	18.5	12	6	4.5	2	1.5	1	1
12	4.5	3	6	4.5	0.5	0.4	1	1
24	2.25	1.5	3	2.25	0.25	0.2	1	1

된다. 또한 역률개선용 컨덴서에도 유입하여 직렬리액터의 소손을 초래하는 일도 많아 대용량의 무정전전원시스템 도입시 고조파에 대한 대책을 강구할 필요가 있다.

특히 컴퓨터 센터와 같이 부하는 CVCF, 공조·위생 시설, 승강기 등을 비롯해서 전동기 인버터 등의 고조파 발생기기도 구성되어 있어 이에 대한 대책으로 변압기 권선에 의한 위상 시프트 및 액티브필터의 설치가 필요하다.

나. 보호협조

도체를 사용한 전력기기와 장치는 통상 과전류에 대해 약하므로 이 때문에 과전류가 발생했을 때 垂下特性을 이용하여 기기를 보호하는 것이 보통이다. 전압 수하특성 때문에 사고시 MCCB 등의 저압차단기의 동작전류가 확보되지 않으며 고장회로가 자동적으로 트립되어 사고상태가 지속된다. 그러므로 무정전전원시스템에서는 과전류보호협조에 대한 검토가 필요하다고 하겠다.

다. 지락보호

반도체를 사용한 무순단 전원장치는 통상 비접지도 사용된다. 이 때문에 한 선에 지락이 발생하여도 사고가 확대되지 않고 방지된다. 한편 부하시스템 상승시간에서 인러시커런트(Inrush Current)가 UPS전압 수하특성을 결정하는데 이것이 부하시스템의 상승시간을 돕게 된다.

이것을 피하기 위하여 무정전전원시스템에서는 부하투입제한 전환회로가 필요하게 되며 또한 공조설비 등의 보조기기에 무정전 전원시스템으로부터 전력을 공급하는 경우도 많다. 이때 보조기기의 인러시커런트에 유의할 필요가 있다. 대용량의 부하시스템 또한 보조기기의 시

동시에 상용전원을 일시적으로 이용하고 상승시간 후 무정전전원시스템으로 전환하는 방식 등도 연구되고 있다.

라. 유지보수, 점검 및 규격

무정전 전원시스템은 유지보수, 점검 및 증개설을 할 경우 정전을 하게 된다. 특히 24시간, 365일 가동을 필요로 하는 부하시스템에 전원을 공급할 때 시스템 구성을 고려해야 한다. 현재 UPS는 KS표준규격이 없고 공업진흥청 및 한국전기공업협동조합 규격을 사용하고 있다.

맺음말

UPS는 최근 고도 정보화 빌딩 내에서 정보통신기기, 컴퓨터 및 중요전기기기를 순간적인 전압강하와 오동작 등으로부터 보호하여 우리 일상생활의 경제활동을 도와 주고 있다. 특히 국제화시대를 맞이하여 1년 365일 전원의 무정전화는 필요불가결한 것이 되고 있다.

UPS의 동향을 보면 컴퓨터의 다운사이징화에 의하여 중·소용량의 수요가 증가하고 있는데 한 예로서 일본 전기공업회가 조사한 UPS 생산 대수를 보면 최근에 약 2배로 증가하였으나 100kVA를 초과하는 대용량의 대수는 30% 정도 감소하였다고 한다:

UPS의 고신뢰도화 대책은 본문에서 설명한 것처럼 UPS 자체의 측면에서 IGBT에 의한 고성능화, 회로구성의 간소화, 고신뢰도 부품 및 제어회로의 마이크로프로세서화가 적용되고 있으며 시스템 측면에서는 병렬용장운전, 인텔리전트 병렬제어, 병렬용장 운전시스템의 2계통설치, 상용 바이패스 회로의 설치, UPS 모니터 기능의 보강 및 원격연속감시 등이 다수 도입되고 있다. ■