

특집 : UPS의 기술동향

병렬운전 UPS의 특성과 기술동향

변영복

(한국전기연구소 전력전자연구그룹 책임연구원)

1. 서론

현재 정보화사회로 진입함에 따라 정보기술(IT : Information Technology)이 산업을 지배하고 있다. 따라서 전자화된 정보의 저장과 관리는 매우 중요한 사안으로 부각되어 이에 관련된 컴퓨터기술도 발전하고 있다. 또한 정보화 사회의 특성에 의하여 모든 통신 및 컴퓨터 시스템은 365일 가동되어야 하고 단 몇 시간의 가동중단도 사회적, 경제적으로 엄청난 손실과 혼란을 일으키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 전력기술이 무정전 전원장치(Uninterruptible Power System, 이하 UPS라 함)이며, UPS도 고장이 날 수 있는 하나의 기기이므로 UPS에도 Redundancy 확보가 중요하게 되어 병렬 UPS의 필요성이 증대되고 있다.

병렬 UPS의 새로운 시장으로 부상하고 있는 인터넷 시장의 현황을 살펴보면 전세계에 현재 약 2,000만개의 웹사이트가 존재하며, 인터넷에 접속된 호스트 컴퓨터는 약 3,700만대로 93년 대비 20배 증가한 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾ 국내에서는 인터넷 이용자 수가 98년말 300만명을 넘어선 이후, 99년 10월 기준으로 600만명을 돌파(최근 3년간 10배 증가, 정보통신부 발표자료)하였으며 앤더슨 컨설팅의 자료에 의하면, 99년 4,100억원의 인터넷 시장규모가 2005년에는 6조 8,000억원 규모로 급성장할 것으로 예측하고 있다. 이러한 인터넷 시장의 급격한 증가에 따라 컴퓨터 시스템 용량의 급격한 증설이 필요하게 되고 호스트컴퓨터의 데이터를 전원장해로부터 보호해 줄 UPS 시장도 급격히 신장할 것으로 예상된다.

일반적으로 병렬운전시스템은 출력전력의 확장성, 보수의 편리성, 고신뢰성 등의 많은 장점을 가지고 있으나, 병렬운전의 기술적 문제는 병렬접속 시스템간의 적절한 부하분담(Load Sharing)제어이며, 부하분담은 시스템 구성품의 차이,

선로 임피던스의 불균형, 센서의 오차 등에 매우 민감하기 때문에 적절한 제어가 없이는 균일한 부하분담을 할 수 없다.

균등한 부하분담을 위해서는 모든 인버터에 있어 출력전압의 주파수, 위상 그리고 진폭이 일치되도록 제어되어야 하며, 그렇지 않을 경우 모듈간에 순환전류가 흐르게 되어 전체 전력 시스템의 용량을 감소시키게 된다. 일반적으로 위상 10차이는 50%의 전력차를 야기하게 된다.⁽²⁻³⁾

이 글에서는 병렬 UPS 시스템의 여러 구성방식, 전압된 인버터의 병렬운전 특성, 병렬운전 제어방식 등을 소개하고 최근의 병렬 운전 UPS의 개발동향을 살펴보고자 한다.

2. 병렬 UPS 시스템 구성

UPS의 Redundancy를 확보하기 위하여 경제성과 신뢰성 측면에서 여러 가지 시스템 구성을 고려할 수 있다. 가장 기본적인 방법으로 그림 1과 같은 Standby형 구성을 생각할 수 있다.⁽⁴⁾ "Cold"나 "Hot" Standby 모드로 운용할 수 있으며

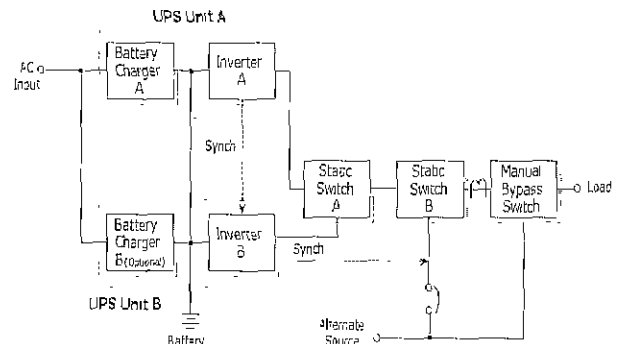


그림 1 기본적인 Redundant Configuration

"Hot" Standby 모드에서는 두 대의 UPS가 동작중인 상태에서 UPS "A"의 고장시 스위치 "A"에 의하여 UPS "B"로 즉시 전력공급경로를 절체시킨다. "Cold" 모드에서는 UPS "B"는 Off 상태이며 UPS "A"의 고장시 스위치 "B"에 의하여 사용전원으로 절체되며, UPS "B"의 기동 후 다시 UPS에 의하여 전력이 공급되는 방식이다.

그림 2는 상용전원의 품질이 나쁠 경우에 사용할 수 있는 상시 Standby 방식의 구성방법이며, 그림 3은 특정 부하에서의 사고 시 다른 부하에 영향을 주지 않게 하기 위하여 특정 부하를 분리시킬 수 있는 구성방법이다.

이러한 구성방법은 신뢰성 대비 경제성 측면에서 장점을 가지고 있으나 일반적으로 사용되고 있는 Bypass 기능이 부가된 단일 UPS과 비교하여 신뢰성 향상에 한계가 있다.

따라서 일반적인 병렬 UPS 시스템은 그림 4와 같은 구성을 가지며 배터리 가격을 고려하여 단일 배터리 방식으로 구성하거나 단일 Bypass 방식으로 시스템을 구성할 수도 있다.^[6] 2대 이상의 UPS가 병렬로 접속되어 전체 부하에 대하여 균일하게 분담하다가 어느 한 UPS가 정지시 다른 UPS들이 다시 전체 부하를 분담함으로써 급전신뢰성을 향상시킨

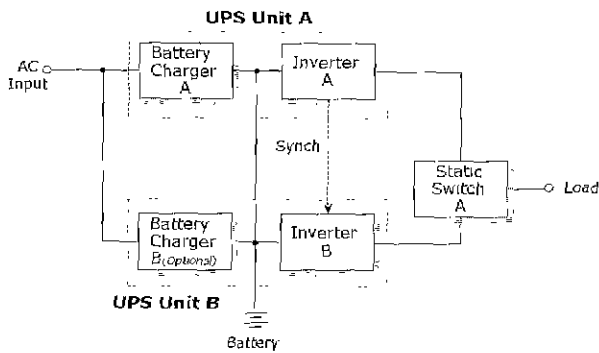


그림 2 Standby Redundant Configuration

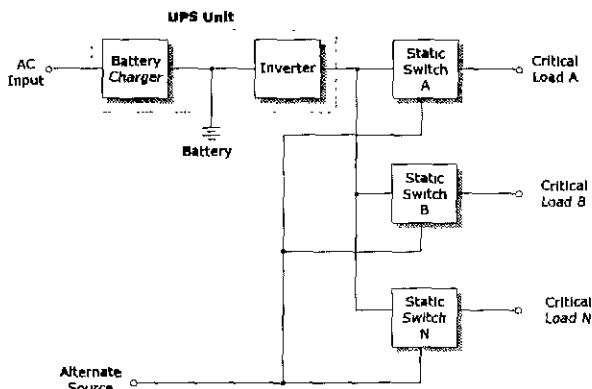


그림 3 Single UPS - Multiple Switch Configuration

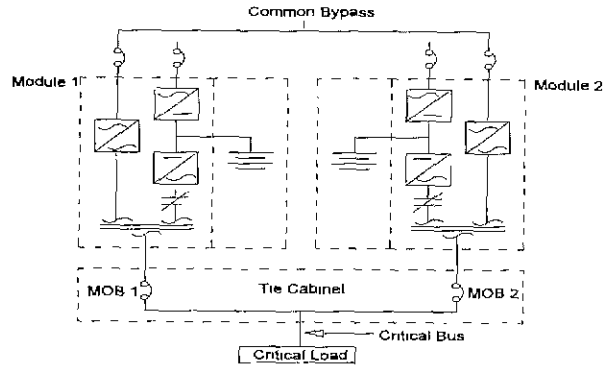


그림 4 Parallel UPS Configuration

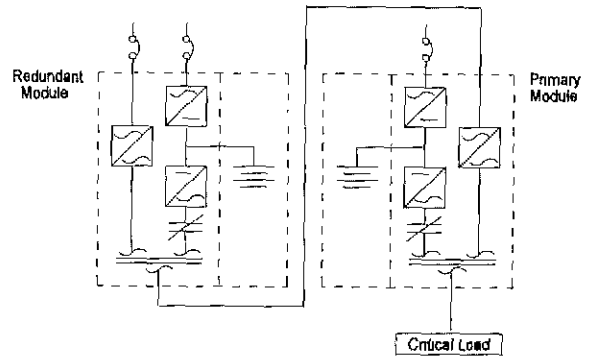


그림 5 Isolated Redundant Configuration

다. 그러나 시스템 신뢰도 분석에 의하면 시스템의 MTBF는 병렬운전 대수에는 거의 영향을 받지 않는다. 그림 5와 같은 직렬 구성방식도 고신뢰성을 위하여 고려할 수 있다. 이 방식은 주 모듈에서 100% 부하 운전 중 Bypass로의 절체 시 후 단 모듈에 100% 스텝부하가 걸리는 단점이 있다.

이상과 같이 UPS 시스템은 전력을 공급할 부하의 특성, 가격, 신뢰성, 상용전원 설비 구성, 설치위치 등 여러 가지 요건에 따라 다양한 구성방식이 가능하다.

3. 전압원 인버터의 병렬운전 특성

두 UPS 전압원 인버터 사이의 출력 전압차와 위상차 및 선로임피던스에 따른 부하분담 특성을 해석하기 위하여, 그림 6과 같이 두 대의 UPS가 병렬로 부하에 전력을 공급하는 경우를 고려하였다.

여기서, E_1, E_2, V 은 각 UPS의 출력전압 및 부하전압, I_1, I_2, i 은 각 UPS의 출력전류 및 부하전류, ΔE 와 ϕ 는 두 UPS사이의 출력전압차 및 위상차, Z_1, Z_2, Z_L 은 선로임피던

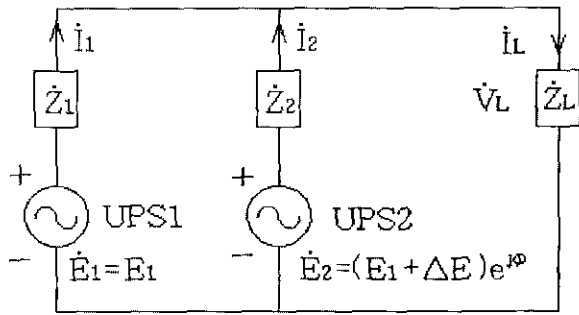


그림 6 전력분담 분석을 위한 등가회로

스 및 부하임피던스를 나타낸다.

3.1 전압차와 위상차에 따른 전력특성

각 UPS의 선로 임피던스가 동일할 경우 ($Z_1 = Z_2 = Z$) 전압차 (ΔE) = 0~10[V], 위상차 (ϕ) = 0~3[°]로 증가시킬 경우, 각 UPS1과 2의 유·무효전력특성은 그림 7과 같다.

그림 7에서 출력 전압차와 위상차에 따른 각 UPS의 유효전력 및 무효전력특성을 명확히 알 수 있다. 유효전력은 두 UPS의 출력전압의 위상차에 주로 영향을 받는다. 위상이 상대적으로 빠른 UPS2의 유효전력은 위상차가 증가할수록 비례적으로 증가하며, 반대로 UPS1은 감소함을 알 수 있다. 또한 무효

전력은 출력전압의 전압차에 비례함을 알 수 있다. 출력전압이 상대적으로 높은 쪽인 UPS2의 무효전력은 전압차에 비례하여 증가하는 반면, UPS1의 무효전력은 감소하게 된다.

이상으로부터 균일한 유효전력분담을 위해서는 출력전압의 위상을 적절히 제어해야 하며, 균일한 무효전력분담을 위해서는 UPS의 출력전압의 크기를 제어해야 함을 알 수 있다.

3.2 선로임피던스 불균형에 따른 전력특성

각 UPS 시스템의 선로 임피던스차에 따른 전력특성을 알기 위해서 UPS1의 선로저항 = 0.01[Ω], 선로인덕턴스 = 0.0001[H]으로 고정하고, UPS2의 선로저항 = 0.01~0.5[Ω], 선로인덕턴스 = 0.0001 ~ 0.005[H]로 증가시킬 경우 UPS1,2의 유·무효전력 특성은 그림 8과 같다.

UPS1의 선로임피던스가 상대적으로 낮으므로 UPS1의 유효 및 무효전력이 증가하는 반면, UPS2의 유효 및 무효전력은 감소하는 특성을 가진다. 두 대의 UPS 시스템을 동일하게 구성하여 병렬운전 하더라도 선로임피던스가 서로 다르면 두 UPS 시스템에서 공급하는 전력차가 발생하므로 균일한 부하 분담을 위해서 선로임피던스의 차이를 고려해야 함을 알 수 있다

3.3 순환전류

그림 9는 두 UPS의 전압차 (ΔE) = 0~2[V], 위상차 (ϕ) = 0~2[°]로 증가시킬 경우의 순환전류를 보여주고 있다.

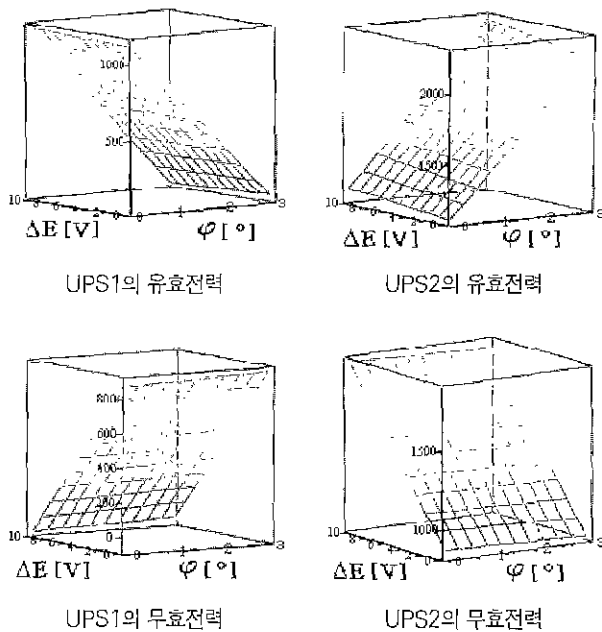


그림 7 전압차와 위상차에 따른 전력특성

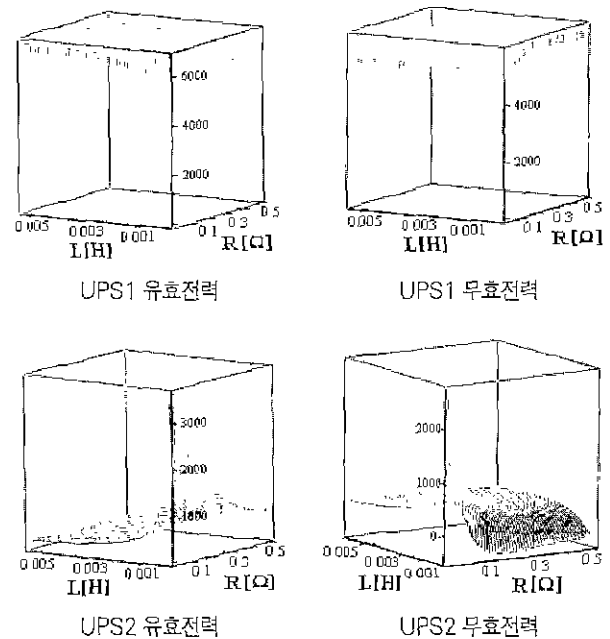


그림 8 선로임피던스 불균형에 따른 전력특성

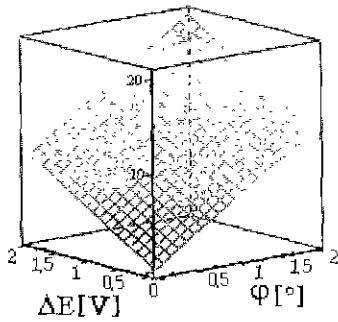


그림 9 순환전류

UPS 상호간에 흐르는 순환전류는 출력전압의 전압차와 위상차에 의하여 발생하며 시스템 전체의 용량을 감소시키는 원인이 된다. 즉, UPS의 병렬운전 제어는 이 순환전류를 최소화시키는 것이다.

4. 부하분담 제어방식

인버터의 부하분담 제어방식에는 크게 부하전류의 크기나 다른 모듈의 상태를 인식하여 제어하는 상호중속 제어방식과 모듈들이 자체 출력 전압, 전류 정보만으로 제어하는 f-v droop 방식의 독립제어방식이 있다.

상호중속 제어방식에는 그림 10, 그림 11과 같은 중앙집중식 제어와 Master-Slave 제어방식, 그림 3과 같은 분산 제어 회로 방식 등이 있다.⁶⁾

그림 10은 전류편차에 의한 중앙집중식 제어방식으로 중앙의 병렬제어장치에서는 전체 부하전류를 검출하여 병렬운전 중인 UPS의 숫자만큼 나눈 값과 각 UPS 출력전류와의 편차

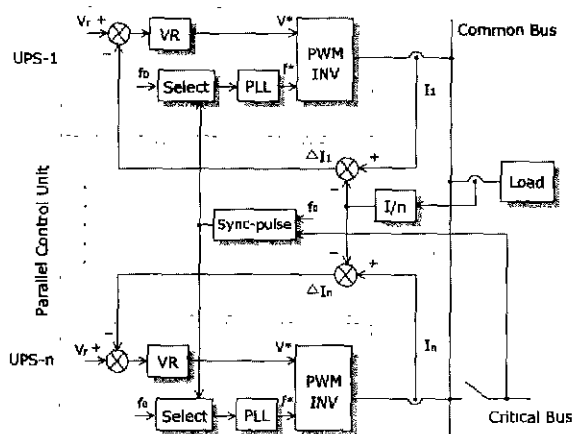


그림 10 전류편차에 의한 중앙집중식 제어

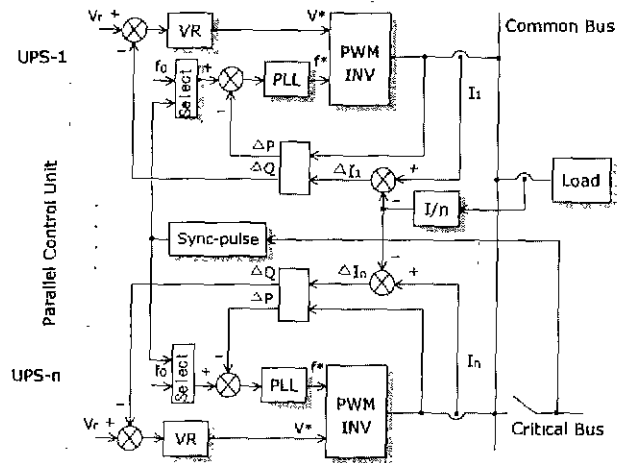


그림 11 전력편차에 의한 중앙집중식 제어

를 전압제어기의 기준값에 가감하는 방식이다. 이는 병렬제어장치에서 상용전원과 동기된 펄스신호를 각 UPS에 제공하므로 출력전압의 주파수와 위상의 오차는 무시할 수 있기 때문에 부하분담 오차는 대부분 전압 크기에 기인한다는 관점에서의 제어방식이다.

그림 11은 전력편차에 의한 중앙집중식 제어방식으로 그림 10의 전류편차 방식의 경우 출력전압의 위상검출의 오차에 대한 보상방법이 없기 때문에 전류편차와 각 UPS의 출력전압을 이용하여 유효전력 및 무효전력의 편차를 계산하고 이를 전압의 크기 제어기와 위상제어기에 궤환시켜 출력전압의 크기 및 위상의 편차를 보상하는 방식이다.

Master-Slave 제어방식은 일반적인 중앙집중식 제어방식의 경우 중앙의 병렬제어장치의 오동작이 전체 시스템의 병렬운전 실패로 발전할 수 있는 단점을 보완하기 위하여 모든 UPS에 각각 병렬제어장치를 설치하는 방식이다. 이 방식에서는 처음에 Master로 설정된 병렬제어장치가 오동작하는 경우 다른 UPS에 장착된 병렬제어장치가 Master로 동작하게 함으로써 병렬운전 실패를 막는 방식이다.

그림 12는 분산 제어회로 방식으로 병렬접속된 모든 UPS 간에 분석정보를 상호 교환하여 각자의 UPS를 제어하므로 UPS 자체는 물론 제어기의 여유도를 확보할 수 있으나 제어회로가 복잡하고 모듈간에 정보를 전달하는 선로의 수가 많으며, 기 설치된 시스템의 용량증설이 어려운 단점이 있다.

이상의 상호중속 제어방식과는 달리 그림 13의 독립제어방식은 일반적으로 발전기의 부하분담 특성인 그림 14의 f-v droop 특성을 이용하는 것으로 UPS 간에 부하분담에 필요한 정보교환을 위한 선로가 없는 것이 특징이다. 각각의 UPS는 자기 모듈이 출력하고 있는 유효전력(P)과 무효전력(Q)을

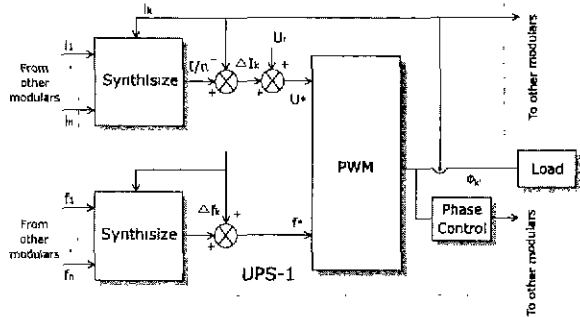


그림 12 분산 제어회로 방식

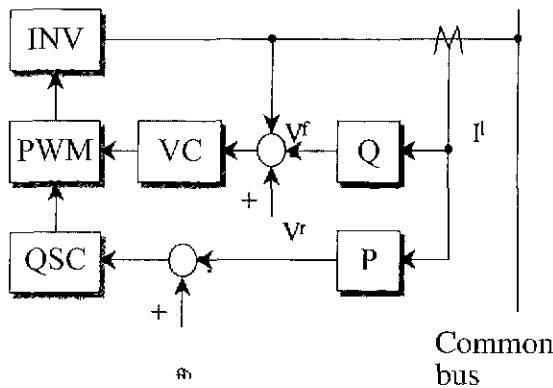


그림 13 f-v droop에 의한 독립제어 방식

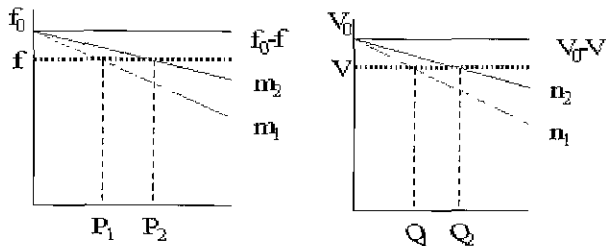


그림 14 f-v droop 특성

실시간으로 계산하는 전력계산기능을 가진다. 계산된 유효전력 및 무효전력과 설정된 f-v droop 특성에 따라 출력전압의 주파수와 크기를 각각 제어함으로써 부하분담 제어를 수행한다. 이 방식은 노이즈원으로 작용할 수 있는 상호 정보교환 선로가 필요 없으며 부하분담 중 하나의 UPS가 투입 혹은 정지되어도 전체 시스템의 병렬운전이 유지되는 등 신뢰성 측면에서 아주 우수한 방식이다. 단점으로는 검출의 정도가 높아야 하며 고속의 계산능력이 있는 제어기가 요구되는 제어장치적인 측면과 f-v droop 특성에 의하여 완전한 정전압,

정주파수 특성을 얻기 어려운 제어적인 측면이 있다. 또한 선로 임피던스의 특성이 각기 다른 경우에 이를 보상하기 위한 제어가 추가로 필요로 하는 단점이 있다.

5. 새로운 개념의 병렬 UPS

5.1 Modular UPS

최근 정보통신 및 인터넷 산업의 폭발적 증가는 컴퓨터 성능 및 규모의 확장성에도 무어의 법칙(Moore's law)이 작용하여 컴퓨터 시스템의 용량이 급속히 증가하고 있다. 따라서 컴퓨터를 전원장해로부터 지켜주는 UPS의 필요용량도 급속히 증대되고 있어 기존의 UPS를 폐기하고 큰 용량의 UPS를 새로 설치해야 하는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 또한 향후 용량증설을 대비하여 처음부터 부하보다 용량이 큰 UPS를 설치함으로써 에너지 및 전력설비의 효율성이 저해되고 설비투자비가 증가하는 요인이 되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 최근 선진국에서는 적정 용량의 소형 UPS를 모듈화하여 부하증감에 따라 적정한 개수의 UPS 모듈을 병렬접속 시키는 모듈방식의 Parallel Redundant UPS를 개발하여 통신, 정보화 시대에 대응하고 있다. 이러한 개념의 제품은 세계적으로 미국의 PK Electronics 와 APC사에서 개발되어 있으며 그림 15는 PK Electronics사의 제품이다.

이러한 모듈방식의 병렬 UPS의 기술적 장점은 다음과 같다.

첫째, 완전한 모듈방식으로 구현함으로써 부하증감에 따른 UPS의 용량 변경이 용이할 점이다. 무어의 법칙에 따르면 18개월마다 UPS 용량을 증가 시켜야 하며, 늦어도 3-5년마다 용량증설의 요구가 발생한다. 이때 기존의 UPS는 새로운 UPS로 교체하여야 하나 모듈방식의 UPS는 부하에 따라 1kVA에서 4kVA 정도의 모듈을 필요용량에 따라 더 장착하면 되므로 컴퓨터 부하의 증가에 경제적으로 대응할 수 있다

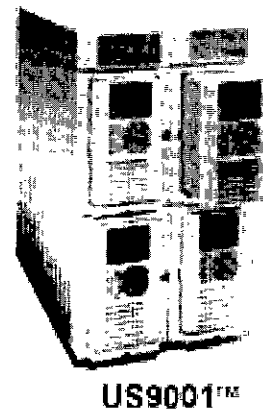


그림 15 Modular UPS의 예

둘째, 전원장해로부터 부하의 완벽한 보호를 추구할 수 있다. 일반적인 병렬운전 UPS는 N+1의 Redundancy를 확보할 수 있지만 모듈방식은 작은 용량의 UPS가 여러 대 조합되어 운전되므로 N+X의 Redundancy를 확보할 수 있다. 또한 Redundancy를 위한 Back-up 용량을 기존 병렬 UPS에 비해 크게 줄일 수 있고, 이에 따라 전력설비의 효율성을 높일 수 있다.

셋째, Hot-Swap 기능에 의한 유지보수비용의 절감과 편리성을 확보한다. Hot-Swap 기능으로 운전 중에 모듈을 장착, 제거할 수 있으므로 점검 및 보수 시에도 UPS를 정지시키지 않고 연속운전이 가능하다. 또한 고장 시 전문가의 도움 없이 고장난 모듈만을 교체해 주면 되므로 유지보수의 효율성을 높여 준다.

이상과 같이 정보화 시대에 적합한 모듈방식의 UPS를 개발하기 위한 기술적 해결점은 다음과 같다.

첫째, Modular UPS의 병렬운전 기술확보

모듈방식의 UPS를 개발하기 위한 가장 중요한 요소기술로써 각 모듈이 부하변화에 따라 항상 균등한 부하분담제어가 되어야 한다. 병렬운전을 위한 부하분담제어에는 전력편차에 의한 제어방법과 주파수-전압강화에 의한 독립제어방법이 있으나 각각의 제어방법에는 장단점이 있으므로 모듈 UPS에 적합한 부하분담 제어방식을 도출하여야 한다.

둘째, 모듈의 소형, 경량화 기술확보

모듈방식 UPS의 효과를 극대화하기 위해서는 단위 모듈의 소형, 경량화가 필수적이며, 하나의 모듈 내에서도 각 구성품(주회로부, 제어부, 배터리 등)을 단위화하여 보수의 편리성을 도모하여야 한다. 이를 위해서 주회로부의 전력 Stack의

설계, 컨버터의 고주파화, 제어회로의 하이브리드화 등의 기술이 필요하며, 모듈들을 장착하는 Rack의 구조설계도 제품 완성도에 매우 중요한 요소이다. 그림 16은 APC사 제품의 모듈화 개념도이다.

셋째, 컴퓨터 부하에 대응하는 입출력 특성 구현

모듈방식의 UPS는 통신설비 및 컴퓨터 부하에 최적인 UPS 제품이다. 컴퓨터 및 전자제품은 대부분 고조파 전류를 유발하는 비선형 부하이므로 UPS 출력전압의 왜형을 야기시킨다. 따라서 컴퓨터 부하와 같은 비선형부하에 대응하여 고조파 전류에 대해서도 정현적인 출력전압을 발생시킬 수 있는 제어기술이 필요하다. 또한 주변의 전자장치에 영향을 주지 않게 하기 위하여 입력측의 교역율화가 필요하다. 일반적으로 교역율 제어를 위하여 승압형 컨버터를 주로 채용할 수 있으나, UPS의 특성상 DC 링크전압을 낮게 가져가서 배터리 셀의 개수를 줄여야 하므로 Modular UPS를 위한 최적의 컨버터 토폴로지 선택이 요구된다.

5.2 분산 UPS 시스템

병렬운전 UPS는 시스템 설치가격의 상승, 설치면적의 증가 등으로 모든 부하에 적용할 수 없기 때문에 현재 대부분의 현장에서는 그림 17과 같이 단독운전 UPS와 병렬운전 UPS가 부하에 따라 혼재해 있다. 이와 같이 복잡한 구조로 운영되는 이유는 첫째, 부하용량이 증가하여 기 설치된 UPS의 용량이 부족한 경우 새로운 UPS의 증설, 둘째, 부하들 간의 위치가 상이하여 UPS를 각각 다른 위치에 설치, 셋째, 설치비를 줄이기 위해 선별된 중요부하에만 병렬운전 UPS 설치 등을 들 수 있다. 그러나 한편으로는 향후 부하증설을 예상하여 현재 운영되는 부하보다 과도한 용량의 UPS를 설치하여 운영하고 있는 경우가 많아 설비 및 에너지 낭비의 요인이 되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 연구되고 있는 분야가 분산 UPS 시스템이다. 분산 UPS 시스템은 그림 3과 같이 상용전원으로부터 분산 설치된 UPS에 의해 양질의 전력을 공급받는 안전한 선로(Secure Network)를 구축하여 UPS 효율성을 높임과 동시에 전원공급의 신뢰성을 확보하는 운용방안이다.⁷⁾ 분산 UPS 시스템은 UPS에 의하여 보호받아야 할 전체 부하용량에 적합하게 여러 UPS를 위치에 구애받지 않고 분산설치 함으로써 전체부하에 대한 Redundancy를 확보함은 물론 최적의 용량으로 운용될 수 있으며 부하증설 시에는 적합한 용량의 UPS를 Secure Network에 접속시키면 되므로 부하증설에 탄력적으로 운용할 수 있다. 또한 UPS를 부하위치에 관계없이 어느 곳이나 설치할 수 있으므로 설치 장소에 구애받지 않아 공간 사용의 효율성을 높일 수 있다. 특히 부하용량의 증감에 따라 최적용량의 UPS를 가동할 수 있어 에너지 효율 측면에서도 최적의 상태를 유지할 수 있다.

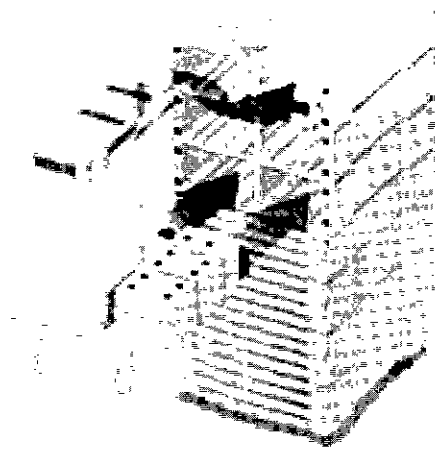


그림 16 APC사 제품의 모듈화 개념도

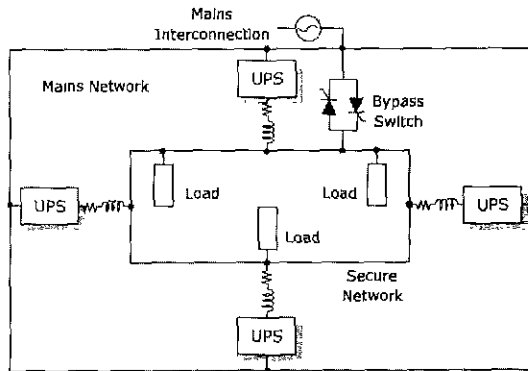


그림 17 On-line 분산 UPS 시스템 개념도

분산 UPS 시스템의 실용화를 위해서는 앞서 기술한 독립 제어방식의 응용과 개선이 요구된다.

6. 맺음말

UPS 산업의 국내현황을 살펴보면 1994년까지 중소기업고 유업종으로 지정, 국내시장만을 고려한 기술개발 투자, 표준화 미비, 설치 및 A/S에 따른 비용과다 등으로 중소기업 업종의 범위에서 벗어나지 못하여 선진국업체와 경쟁할 수 있는 전문기업이 아직 나타나지 않고 있다. 따라서 선진제품과의 기술격차를 줄이기 위해서는 대용량 UPS, 병렬 UPS 시스템, 디지털제어에 의한 고품질 UPS, 웹기반에 의한 원격 감시제어 기능 등의 새로운 인터페이스 기술 등의 개발과 상업화가 시급한 실정이다. 특히 정보통신산업의 활성화에 따라 대용량 UPS 및 병렬 UPS 기술의 중요성이 새롭게 부각되고 있는 시점이다

이러한 기술격차를 극복하기 위해서는 기업의 자체기술 확보와 함께 급속하게 변하는 산업환경에 대응하는 새로운 개념의 UPS 시스템 도출을 위한 산학연 공동의 노력이 필요하다.

참고 문헌

- [1] "국내의 인터넷비즈니스 선도기업의 전략 및 시사점", 삼성경제연구소 보고서, 1999, pp. 5~22.
- [2] Brian T. Irving 외 1인. "Analysis, Design, and Performance Evaluation of Droop Current-Sharing Method", IEEE - APEC 2000, vol 1, Feb. 2000, pp. 235~241.
- [3] Shoji-Nishikata 외 1인. "Steady-State Performance Analysis of a Parallel-Running AC Power System When Loaded with a Capacitor-Filtered Rectifier", JIEE Japan, Vol 117-D, No 2, 1997, pp. 255~256.
- [4] "Application of Uninterruptible Power Systems - Comparison of System Configurations", Solidstate Controls, INC.
- [5] "Powerware Plus Parallel Redundant System - The Application of wireless Parallel Technology", Powerware Corporation.
- [6] Duan Shanxu 외 4인. "Parallel Operation Control Technique of Voltage Source Inverters in UPS", IEEE-PEDS'99, July 1999, pp. 883~887.
- [7] M.C. Chandorkar 외 3인. "Novel Architectures and Control for Distributed UPS Systems", IEEE APEC '94, Feb 1994, pp. 683~689.

< 저 자 소 개 >



변영복(卞永福)

1961년 3월 23일생 1984년 부산대학교 공과대학 전기기계공학과 졸업 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학) 1986년~현재 한국전기연구소 전력전자연구그룹 책임연구원, 1998년~현재 영남

대 대학원 전기공학과 겸임교수