

정보통신용 다병렬 운전의 모듈식 무정전전원장치

Module UPS of multi-parallel operation for use in information & telecommunication systems

구태근*, 류지수, 배상규, 박근갑
(Tae-Geun Koo, Ji-Su Ryu, Sang-Gyu Bae and Keun-Kap Park)

Abstract : The reliability as well as the power capability of the UPS system can be increased by replacing a single UPS unit with multiple small UPS units in parallel, resulting in a so-called module UPS. This module UPS system allows that a new module can be added or replaced while maintaining power to loads, which is a hot-swappable operation. In addition, it has desirable features such as ease of output power expandability, convenience of maintenance and repair, and high reliability. To realize the module UPS, load sharing without interconnection among parallel connecting modules as well as a small scale and lightweight topology is necessary. The frequency and voltage droop method is applied to parallel operation control to achieve load sharing. 5kVA modules are designed and implemented to confirm the effectiveness of the proposed approaches. Experimental results show that the module UPS system has a high power factor, a low distortion of output voltage and input current, hot-swappable operations and good load sharing characteristics.

Keywords: module UPS, hot-swappable operation, load sharing, multiple parallel operation

I 서론

최근 정보통신 분야의 장비들은 아주 순간적인 정전도 허용하지 않으며, 이들 장비에는 UPS의 채용이 필수적이나, UPS도 하나의 시스템으로서 고장으로 인한 정전사태가 발생할 수도 있으므로 UPS 자체의 신뢰성 확보도 매우 중요하게 되었다. 결국 리던던시(Redundancy) 개념이 UPS 시스템에도 적용되어 신뢰성 확보를 위한 병렬운전이 확산되고 있다.

정보통신 및 인터넷 산업의 폭발적인 증가로 정보통신 설비의 부하 증가시 기존의 UPS 시스템을 큰 용량의 UPS로 교체해야 하는 경우가 빈번히 발생하고 있으며, 향후 부하 증가에 대비하여 처음부터 큰 용량의 UPS를 설치함으로써 에너지 및 전력설비의 효율성을 저하시키고 설비투자비를 증가시키는 요인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 최근 선진국에서는 적정용량의 소형 UPS를 모듈화하여 부하증감에 따라 적절한 개수의 UPS 모듈을 병렬접속 시키는 모듈방식의 Parallel Redundant UPS를 개발하여 정보화 시대에 대응하고 있다. 하지만 현재 국내의 모듈 UPS 개발 실적은 매우 미비할 뿐 아니라, 선진국에서 전량을 수입하여 공급되고 있어 국가 경쟁력 확보 및 수입대체를 위해서 모듈 UPS의 조속한 개발이 요구되고 있다.

모듈 UPS의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 부하증감에 따른 UPS 시스템의 출력용량 변경이 용이하다. 최근, 정보통신의 발전에 따른 통신설비의 증설로 UPS 용량증설의 요구가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 용량증설을 위해서는 기존의 UPS 시스템을 새로이 대응량의

UPS 시스템으로 교체하여야 하나, 모듈 UPS는 소용량의 단위 모듈을 부하 증가에 따라 필요한 용량만큼 더 장착하면 되므로 출력용량 변경이 용이하고, 부하 증가에 안정적, 경제적으로 대응할 수 있다.

둘째, UPS 시스템의 높은 신뢰성으로 전원장애로부터 부하의 완벽한 보호가 가능하다. 일반적인 병렬 UPS는 N+1의 리던던시를 확보할 수 있지만, 모듈 UPS는 소용량의 단위 모듈을 여러 대 조합하여 운전하므로 N+X의 리던던시를 확보할 수 있어 신뢰성이 매우 높다. 또한 리던던시를 위한 예비 용량을 기존 병렬 UPS에 비해 크게 줄일 수 있어 전력설비의 효율성을 높일 수 있다.

셋째, 핫 스왑 기능에 의한 무순단 연속운전 및 유지보수 비용 절감과 편리성이다. 핫 스왑 기능을 구현할 수 있는 독립제어기법을 적용함으로써 점검 및 보수 시에도 통신시스템을 정지시키지 않고 연속운전이 가능하며, 단위 모듈의 고장시에도 전문가의 도움 없이 사용자가 고장난 모듈만 교체해 주면 되므로 유지보수의 비용절감 및 효율성을 높여 준다.

본 논문에서는 5kVA의 단위모듈 UPS를 6대 다병렬로 연결하여 최대 30kVA까지 확장이 가능한 모듈 UPS 구현하였으며, 정상상태 및 부하급변이나 핫 스왑 등의 과도상태에서도 안정적인 전기적 특성을 나타냄으로써 정보통신시스템에 최적의 모듈 UPS를 개발하였다.

II. UPS의 병렬제어

모듈방식의 병렬 UPS는 다수의 단위 모듈 UPS를 병렬 접속하여 운전하므로 개개의 UPS들이 부하를 균등하게 분담하여야 한다. 균등한 부하분담을 위해서는 출력전압의 주파수, 위상 그리고 크기가 일치되어야 한다.

UPS의 출력전압은 선로 임피던스의 불균형, 검출 및 제어의 오차 등으로 인하여 일치되지 않고, UPS 상호간에 순환전류를 흐르게 하여 시스템 전체의 용량을 감소시킬 뿐 아니라 안정적인 병렬운전을 할 수 없게 하므로 각 UPS의

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 7. 20., 채택확정 : 2007. 7. 30.

구태근: 한영전기공업(주)

(kootk@hanmail.net)

* 본 연구는 협력연구개발과제로 한국전력공사의 지원을 받아 연구되었음.

출력전압 불일치를 보상할 수 있는 병렬운전제어 기법이 수반되어야 한다[1].

병렬운전 제어기법은 마스터-슬레이브 제어, 전류편차 제어, 그리고 주파수-전압강하 제어 등으로 크게 나눌 수 있다[2].

마스터-슬레이브 제어는 하나의 마스터 UPS 와 다수의 슬레이브 UPS 들로 전체 시스템을 구성하고, 마스터는 전압제어를, 슬레이브는 전류제어를 수행하며, 슬레이브의 전류제어 기준값은 마스터가 지령한다. 이 제어 기법은 제어기 구조가 간단하고, 부하분담의 과도특성이 우수하며, 균등한 부하분담제어를 할 수 있다.

마스터가 슬레이브들에게 전류제어 기준값을 지령해야 하므로 슬레이브 개수만큼의 신호선이 필요하며, 마스터의 고장은 시스템 전체에 영향을 미치게 되며, 전체 하드웨어적인 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다[3].

전류편차 제어는 I/n (I_L 은 전체부하전류, n 은 병렬 접속된 UPS 의 수)와 UPS 자체의 출력전류와의 편차를 전류편차 ΔI 로 검출하고, ΔI 의 유효성분은 출력전압의 위상을, 무효성분은 출력전압의 크기를 제어하여 전류편차를 최소화되도록 제어하는 기법이다[4]. 전류편차 제어 기법도 부하분담특성은 우수하나 부하전류에 대한 정보가 어떠한 신호선에 의하여 각 UPS 에 전달되어야 한다.

마스터-슬레이브 제어와 전류편차 제어는 반드시 병렬 접속된 UPS 상호간에 신호선이 요구되며, 이 신호선은 UPS 간의 거리를 제한하고 노이즈를 야기하여 시스템 전체의 안전성을 저해하는 요인이 될 수도 있다. 하지만 이러한 신호선의 단점을 보완한다면 병렬 접속된 UPS 상호간의 정보수수로 부하분담특성이 매우 우수한 특성을 가지고 있다[5].

주파수-전압강하 제어는 병렬 접속된 UPS 사이에 어떠한 신호선도 필요치 않으며, 개개의 UPS 시스템을 독립적으로 구성하여 병렬 운전할 수 있는 기법으로서 각 UPS 자체가 분담하고 있는 유효전력과 무효전력을 검출하고, 주파수와 전압을 유효전력과 무효전력에 따라 강하시키는 기법이다.

주파수-전압강하 제어기법은 부하변화에 따라 주파수와 전압을 제어하여야 하므로 부하량에 따라 출력전압이 강하하는 특성과 고속 정밀의 연산 및 다소 복잡한 제어기법이 요구되지만, 각 UPS 의 독립제어가 가능하므로 부하에 전원을 공급하고 있는 상태에서도 UPS 를 장착 및 교체할 수 있는 핫 스왑 기능을 구현할 수 있어 본 연구에서는 이 기법을 근간으로 하여 모듈 UPS 를 개발하였다.

III. 모듈 UPS 의 부하분담 제어

본 논문에서는 출력전압의 크기와 위상에 대해서 유효전력과 무효전력을 제어하는 주파수-전압강하방식으로 병렬운전 하였으며, 병렬운전 제어알고리즘의 블록도는 그림 1 과 같다.

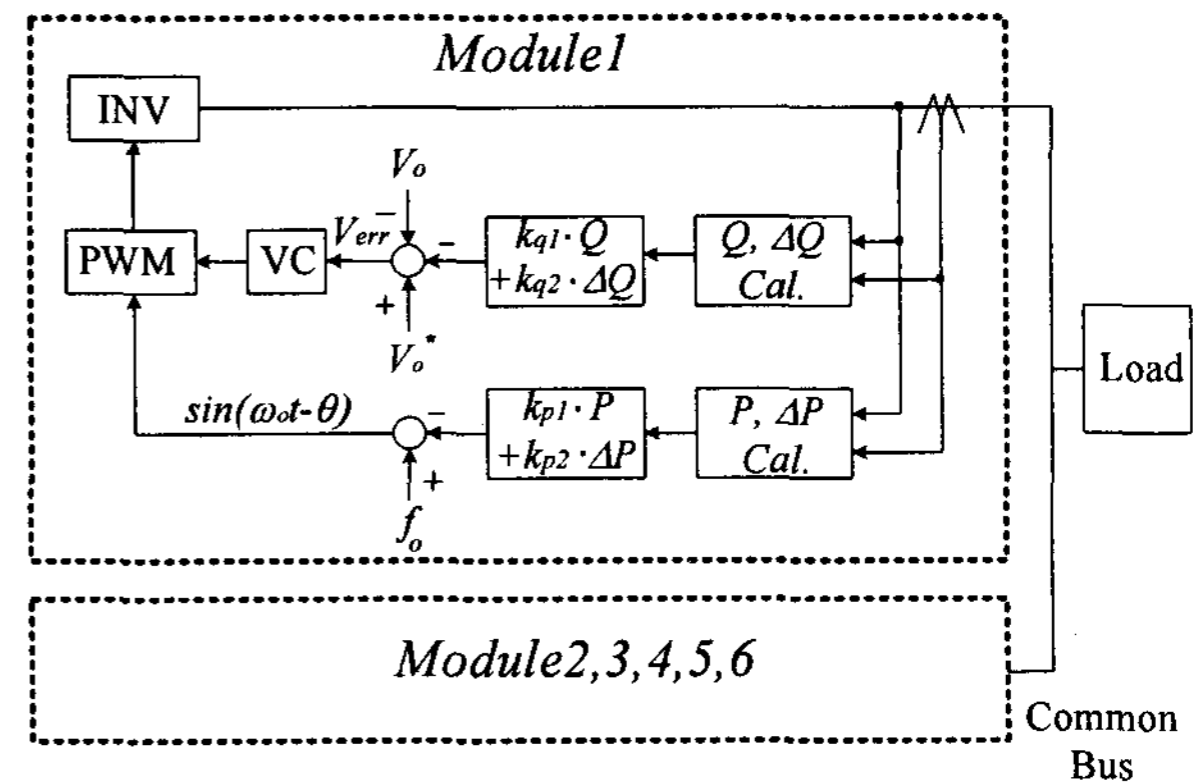


그림 1. 제어 알고리즘 블록도

무효전력 제어 알고리즘을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_{err} = V_o^* - V_o - K_{q1} \cdot Q - K_{q2} \cdot \Delta Q \quad (1)$$

여기서 V_o^* 는 출력전압의 지령치, V_o 은 출력전압, Q 는 무효전력, ΔQ 는 무효전력변화율, K_{q1} 와 K_{q2} 는 무효전력 계수이다.

식(1)에서 출력전압은 Q 와 ΔQ 에 따라 크기가 강하되는 효과가 있다. 병렬운전 동안 두 UPS 의 무효전력이 서로 다를 경우, 각 UPS 의 출력전압은 무효전력의 불평형을 제거할 수 있는 전압으로 강하하여 병렬 운전하게 된다.

또한, 부하 급변에 따른 무효전력의 갑작스런 변화시 출력전압강하가 크게 됨으로, 이를 보상하기 위해 $K_{q2} \cdot \Delta Q$ 항을 첨가하여 무효전력에 의한 전압변동을 최소화하였다.

무효전력 분담에 있어서 무효전력 계수 선정은 매우 중요하다. 무효전력계수를 크게 하면 정상상태에서 무효전력 분담은 균등하게 할 수 있으나 출력전압이 낮아지며, 무효전력계수를 작게 하면 원하는 출력전압은 얻을 수 있으나 균등한 무효전력 분담이 되지 않는다. 결국, 균일한 부하분담 제어를 위해서는 무효전력 계수를 출력전압 강하의 허용 범위 내에 있도록 우선적으로 선정하여야 한다.

유효전력 제어 알고리즘은 다음과 같다.

$$f_n = f_{n-1} - K_{p1} \cdot P - K_{p2} \cdot \Delta P \quad (2)$$

여기서 f_n 는 기준주파수, P 는 유효전력, ΔP 는 유효전력변화율, K_{p1} 와 K_{p2} 는 유효전력 계수이다.

일반적으로, 주파수차는 위상차를 야기한다. 식(2)에서 두 UPS 시스템의 유효전력차가 발생하면, 두 UPS 시스템의 출력전압에 위상차가 발생하게 되고, 출력전압의 위상을 Bypass 전압을 기준으로 미소 변화시킴으로써 유효전력을 제어할 수 있다.

유효전력 계수 선정에 있어서 또한 신중성을 가져야 한다. 왜냐하면, 유효전력계수를 크게 선정하면 정상상태에서 유효전력분담은 균등하게 되나, 상용전원과 동기가 정확히 되지 않아 인버터에서 상용전원으로 혹은 상용전원에서

인버터로 부하 전환시 전체시스템의 안전성에 문제를 일으킬 수 있으며, 유효전력계수를 작게 선정하면 상용전원과 동기는 정확하게 되나 균등한 유효전력 분담이 되지 않는다. 이를 충분히 고려하여 유효전력 계수를 선정하여야 한다.

IV. 모듈 UPS 의 구성

단위모듈은 5kVA용량의 입력3상/출력단상으로 구성되며 6대의 단위모듈이 병렬로 연결되어 전체용량은 최대30kVA까지 확장이 가능토록 제작하였으며, 독립병렬제어는 출력전압뿐 아니라 축전지의 충전에도 적용하였다. 결국 6대의 단위모듈이 병렬로 축전지에 연결되어 충전한다.

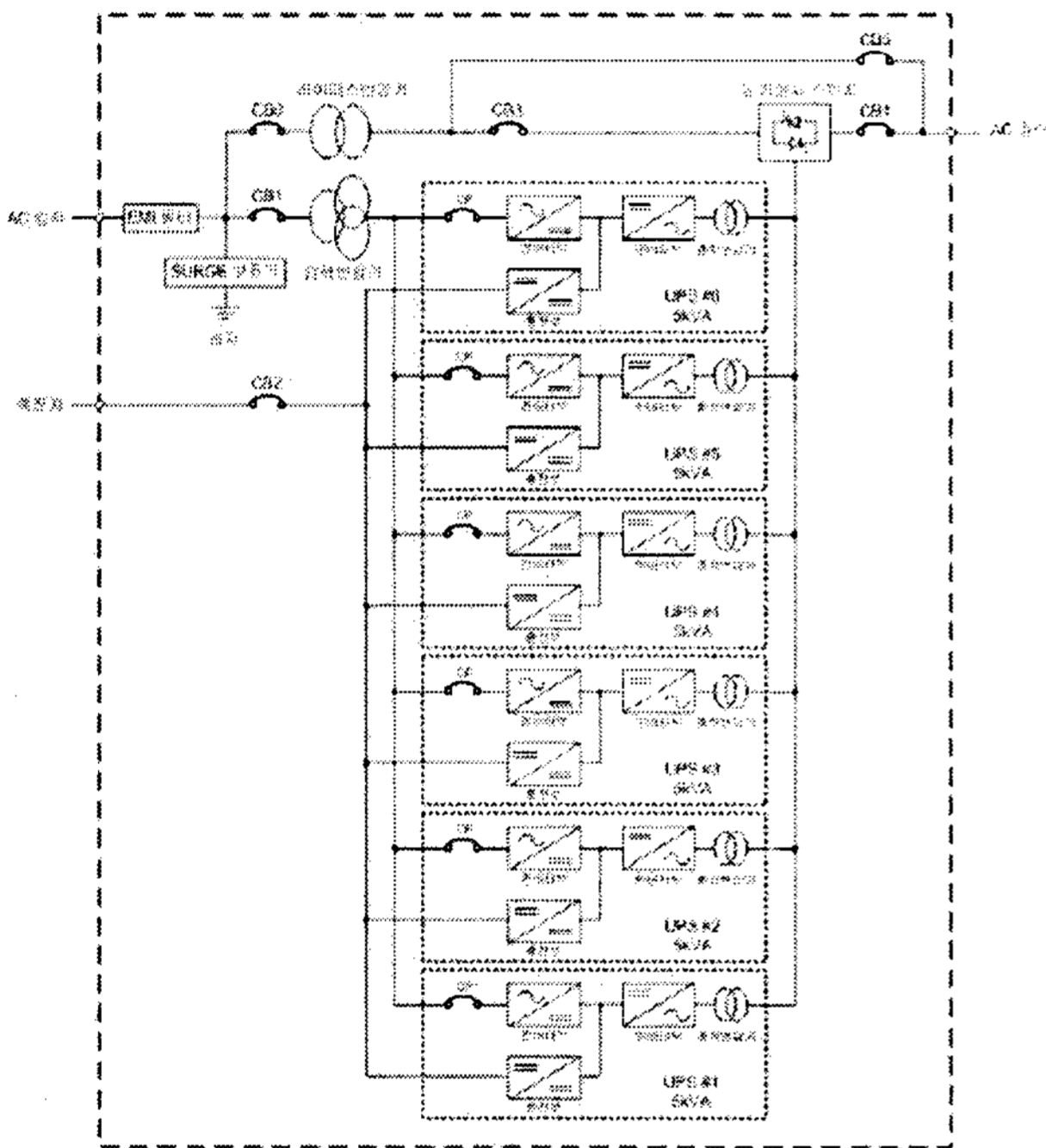


그림 2 모듈UPS 전체 구성도

V. 실험

1. 단위모듈의 특성시험

모듈 UPS의 원활한 병렬운전을 위해서는 단위 모듈의 입력특성이 우수해야 한다. 모듈 단위의 중요한 특성은 입력전류 및 출력전압의 고조파 왜율(THD) 및 입력역률, 정전시 출력전압의 과도응답특성이다.

그림 3은 정격부하에서 입력전압과 입력전류 파형을 나타낸다. 정격부하에서 입력전류의 왜율이 6%이내로 양호하며, 역률도 거의 단위 역률을 나타내었다.

그림 4는 정전시 입력전압과 출력전압 파형을 나타낸다. 정전시에도 빠른 제어특성으로 출력전압변동 없이 매우 안정적인 과도특성을 나타내었다.

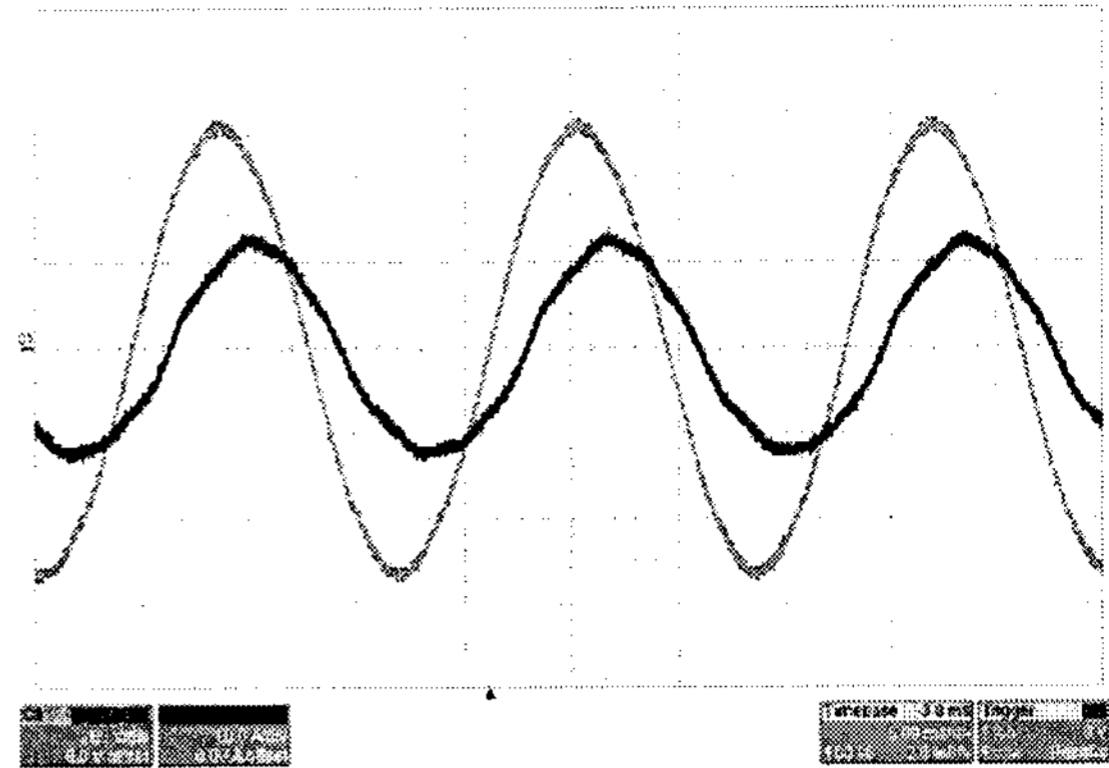


그림 3 정격부하에서 입력전압과 전류파형

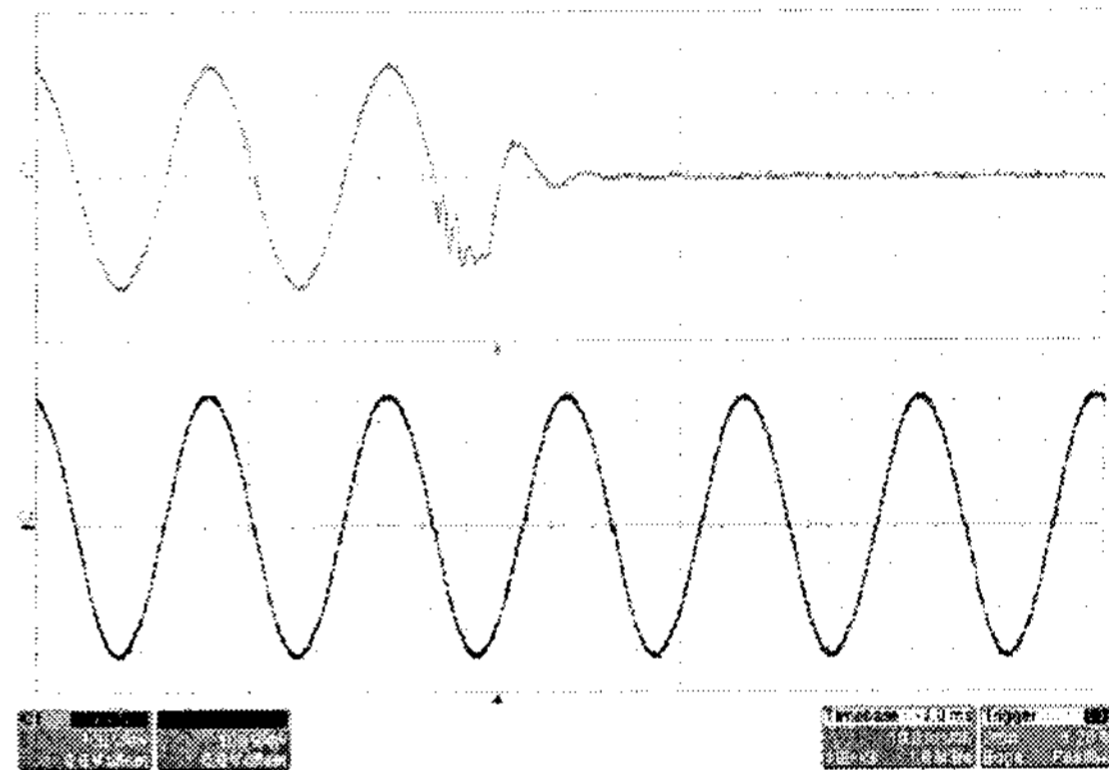


그림 4 정전시 입력전압과 출력전압파형

2. 병렬운전 특성시험

단위모듈의 특성평가를 한 후, 6대의 모듈을 Rack에 장착하여 병렬운전 특성시험을 하였다. 병렬운전에 있어 중요한 특성은 병렬 접속된 모듈 상호간에 순환전류 없이 균등하게 부하 분담을 하여야 한다. 또한 모듈 UPS의 가장 큰 특징 중 하나인 핫 스왑 기능으로 정상운전 상태에서 모듈장애 발생시 또는 증설, 교체시 통신설비 운전을 정지 않고도 쉽게 탈, 실장 할 수 있어야 하므로 핫 스왑 시 과도특성도 매우 중요하다 하겠다.

그림 5는 50% 부하 급변시 출력전압 및 각 모듈의 출력전류 파형을 나타낸다. 파형에서 알 수 있듯이 부하 급변시 빠른 과도응답으로 출력전압변동이 없으며, 매우 안정적인 과도 응답 특성과 정상상태에서도 부하분담편차가 6%이내로 균등한 부하분담 특성을 나타내었다.

그림 6과 7은 2대 병렬운전중의 핫 스왑시 출력전압과 각 모듈의 출력전류파형을 나타낸다. 병렬운전 상태에서 임의의 모듈을 제거 및 장착시에도 매우 안정적인 과도응답 특성을 나타내었다.

이상의 병렬운전의 실험파형에서 알 수 있듯이 정상상태 및 과도상태에서도 각 모듈이 균등하게 부하분담을 하고 있어 전체 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

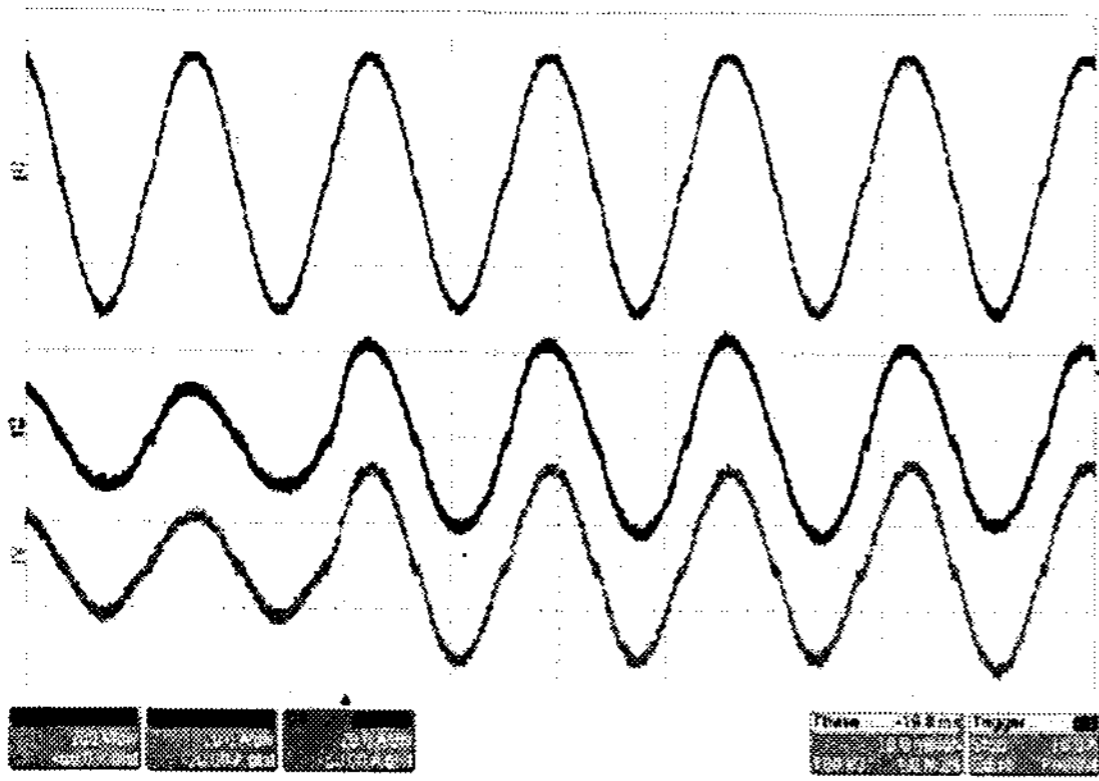


그림 5 부하급변시 모듈의 출력전류와 출력전압파형

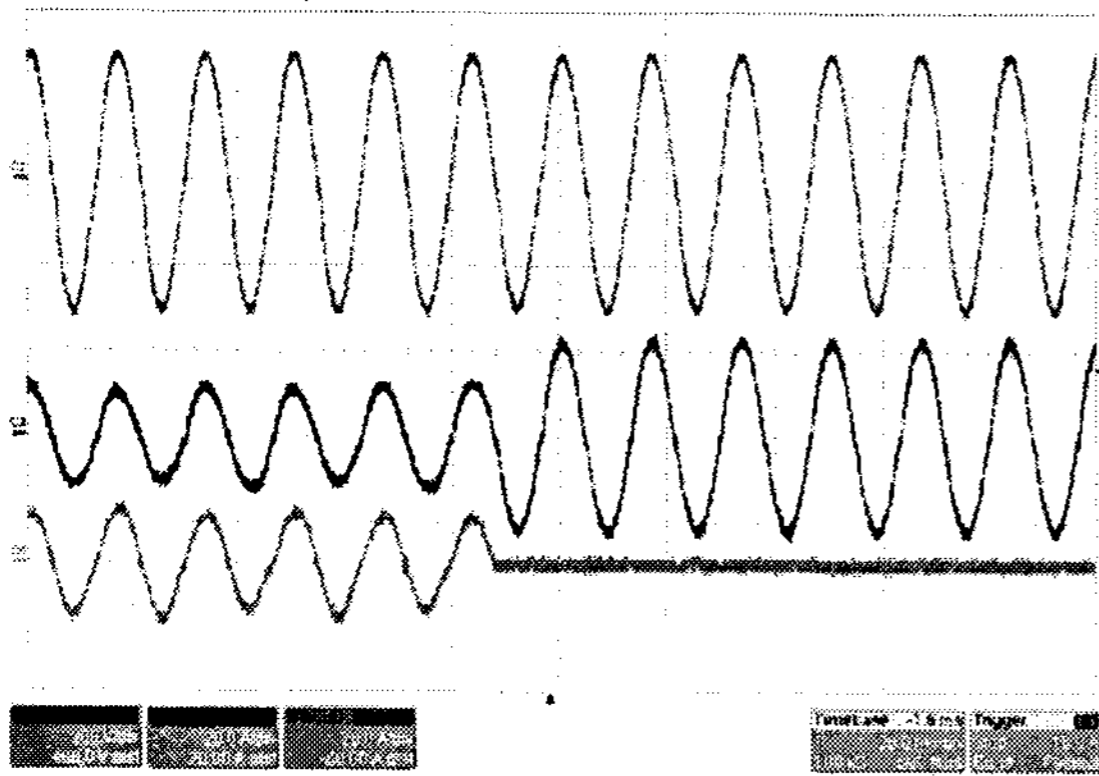


그림 6 핫스왑(모듈제거)시 모듈의 출력전류와 출력전압파형

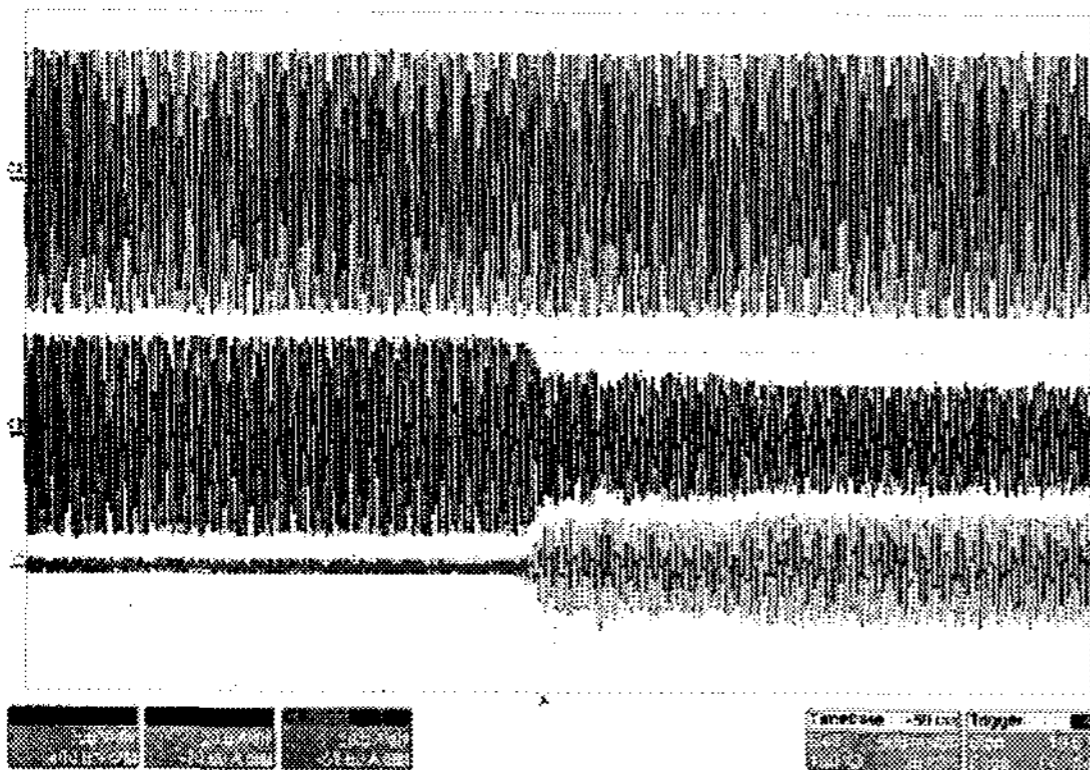


그림 7 핫스왑(모듈장착)시 모듈의 출력전류와 출력전압파형

VI. 결론

본 연구에서 개발된 모듈 UPS 의 병렬제어 기법과 정상상태 및 과도상태에서의 전기적 특성 시험에서 안정적이고 균등한 부하분담 특성을 실험과형으로 나타내었다.

개발된 모듈 UPS 는 소용량의 단위 모듈을 다병렬 운전함으로써 N+X 의 리던던시 확보로 시스템의 신뢰성이 매우 높다. 또한 핫 스왑 기능을 구현할 수 있는 독립제어기법을 적용함으로써 점검 및 보수시에도 시스템 정지 없이 연속운전이 가능하며, 유지보수 비용 절감 및 운영의 편리성이 높다 하겠다. 그리고 정보통신 설비 중설로 부하 증가시 UPS 교체가 아닌 단위모듈을 필요수량

만큼 장착만 하면 되므로 통신설비 운전에서 지장 없이 출력용량 변경이 용이하며 부하 증가에 경제적으로 대응할 수 있다.

이러한 모듈 UPS 는 일시적인 정전이나 순시전압저하도 허용되지 않는 중요한 정보 통신시스템의 전원 공급 장치, 또한 부하의 증설 및 변경이 잦은 장소의 전원장에 대비를 위해 활용되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] S. Nishikata and M. Nakamura, "Steady-State Performance Analysis of a Parallel-Running AC Power System When Loaded with a Capacitor-filtered Rectifier," *T. IEE Japan*, vol. 117-D, No2, pp. 255-256, 1997.
- [2] D. Shanxu, M. Yu, S. Jian, K. Yong and C. Jian, "Parallel Operation Control Technique of Voltage Source Inverters in UPS," *In proc. IEEE PED'99*, pp. 883-887, July, 1999.
- [3] T. F. Wu, Y. H. Huang, Y. K. Chen and Z. R. Lin, "A 3C Strategy for Multi-Module Inverters in Parallel Operation to Achieve an Equal Current Distribution," *In Proc IEEE PESC'98*, vol. 1, pp. 186-192, 1998.
- [4] H. Oshima, Y. Miyazawa, and A. Hirata, "Parallel Redundant UPS with Instantaneous PWM Control," *In Proc. IEEE INTELEC'91*, pp436-442, Nov. 1991



구 태 근

1995년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1999년~2003년 한국전기연구원 전력전자그룹 연구생. 2003년 ~ 현재 한영전기공업(주) 책임연구원.



류 지 수

1990년 단국대학교 전기공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2004년~2005년 한양대 전기공학과 BK 연구교수. 2006년 ~ 현재 한영전기공업(주) 책임연구원.



배 상 규

2002년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 (주)로템 연구원. 2005년 ~ 현재 한영전기공업(주) 주임연구원.



박 근 갑

2002년 방송통신대 방송정보학과 졸업(학사). 1977년 체신부 장거리 무선건설국 포항단말국. 1979년 ~ 현재 한국전력공사 과장. 관심분야: 전송망 운영관리, 전원설비, 통신재난, 전력보안통신설비