

Static UPS 병렬운전 제어

김 동욱, 김 연풍, 신 현주, 백 병산, 류 승표, 민 병권
현대중공업(주) 마북리 연구소

The Control of Parallel Operation for Static UPSs

D.U.Kim, Y.P.Kim, H.J.Shin, B.S. Baek, S.P. Ryu, B.G.Min
Mabook-Ri Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - An uninterruptible power supply(UPS) with parallel operation is used to increase the power capacity of the system or to secure higher reliability at critical loads. In the parallel operating system composed of the multiple UPSs, load-sharing, i.e. current balance control between them is key technique. Because of its low impedance and quick response characteristics, inverter output current changes very rapidly and thereby easily researches an overload condition. The difference between total load current divided by number of operating inverters and its own current is detected as unbalanced current. Then frequency and voltage are controlled to minimize the active component and the reactive component. A good performance of the proposed load-sharing technique is verified by experiments in the parallel operating system with two 40kVA UPSs.

1. 서 론

UPS 병렬운전은 용량의 증대나 부하단에 사용되는 부하의 중요도에 따라 사용 전원의 신뢰성을 확보하기 위해서 사용된다. 이러한 UPS의 병렬운전시 가장 중요한 것은 각 UPS의 전류분담 제어이다. 그러나 병렬운전시 시스템 고유의 문제점은 병렬운전 되고 있는 각 UPS의 임피던스가 서로 다른 점과, 항상 동기가 되어도 라인 임피던스 및 특성 차이로 전위차가 발생한다는 점이다.

따라서 이러한 시스템을 병렬운전 할 경우, 상기 문제점 뿐만 아니라, 고주파화로 인한 출력임피던스의 저감과 순시치 PWM 제어의 고속응답에 의한 동작 임피던스의 저하 때문에 병렬 UPS 사이에 발생하는 순환 전류가 많아지게 된다. 이로 인하여 각 UPS는 자신의 용량보다 적은 용량만을 부하측에 공급하게 되므로 전체적인 시스템의 효율을 감소시킬 뿐만 아니라, 시스템 고장의 원인이 된다. 상기의 문제점을 해결할 수 있는 가장 용이한 방법은 출력단의 임피던스를 크게 하는 것이다. 그러나 출력단 임피던스를 크게 할 경우 고주파화에 따른 장점이 없어지고, 변압기 내부에 필터를 내장하는 일체형 변압기를 구성하기가 어렵게 되어, 별도로 외부에 출력필터를 부착하여야 하므로 가격이 상승하고 크기가 커지는 문제점이 발생된다.

본 연구에서는 출력임피던스를 크게 하지 않고도 각 UPS 고유의 문제점과 출력임피던스가 낮은 시스템을 병렬운전하기 위하여 각 UPS 장치의 출력전류 편차로부터 구한 유효전력과 무효전력에 대응하여 출력위상과 출력전압을 보정하는 고정밀 제어기를 구현하였으며 40KVA UPS 시스템을 제작하여 그 성능을 입증하였다.

2. 주회로 및 제어 회로 구성

2.1 주회로

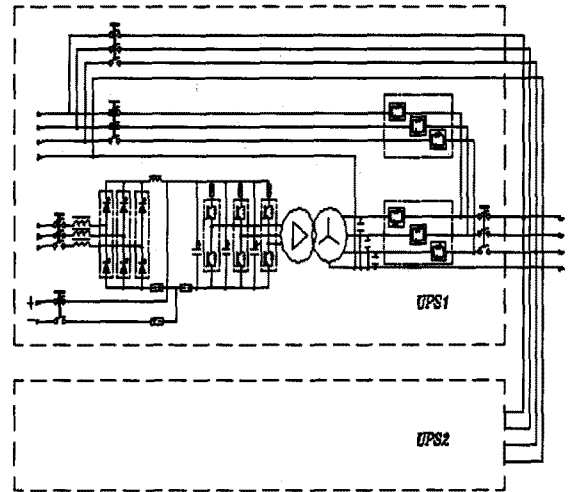


그림1. 주회로 구성도

그림1은 주회로 구성도이며, UPS1과 UPS2의 내부 구성은 동일하다. 회로구성은 정류부, 인버터부, By-Pass부 및 수동 By-Pass부로 구성되어 있다.

정류부는 AC를 DC로 변환하여 인버터부에 DC 전압을 공급하며, 축전지를 충전하는 순변환기로서, DC 출력전압의 정전압 제어기능이 있는 정류기이다. 외부에 연결되어 있는 축전지는 상용전원의 정전시, 또는 정류기 고장시 축전지에서 DC 전원을 인버터부에 공급함으로써 출력의 무정전화가 가능하다. 인버터부는 DC를 AC로 변환하여 정전압, 정주파수를 갖는 양질의 교류출력을 부하측에 공급하는 부분으로 IGBT에 의한 고속스위칭과 PWM방식으로 제어된다. By-Pass부는 인버터부 고장시 부하측에 무순단으로 상용전원을 공급하는 부분이며 수동 By-Pass부는 시스템 고장시에 사용된다.

UPS 병렬운전 시스템의 구성으로는 각 UPS에 축전지가 공통으로 연결되어 있는 공통 축전지 시스템과 각 UPS에 별도의 축전지를 설치하는 개별 축전지 시스템이 있다. 본 연구에서는 공통 축전지 시스템으로 회로를 구성하였다. 공통축전지 시스템은 병렬 운전시 직류 라인이 공통이기 때문에 내부에서 직류 단락이 발생하면 전체 시스템에 영향을 주게 되므로 다이오드에 의한 직류 스위치를 설치하여 신뢰성 향상을 도모하였다.

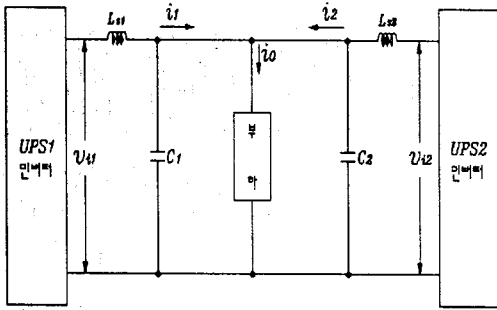


그림2. 1상분 등가회로도

2.2 제어회로

그림2는 UPS 2대를 병렬로 운전할 때의 1상분 등가회로를 나타낸다. 두 UPS가 단독으로 동작할 때 인버터에서 발생하는 출력전압 V_{i1} 및 V_{i2} 는 다음과 같다.

$$V_{i1} = L_{s1} \frac{di_1}{dt} + V_0 \quad (1)$$

$$i_{C1} = C_1 \frac{dV_0}{dt} \quad (2)$$

$$V_{i2} = L_{s2} \frac{di_2}{dt} + V_0 \quad (3)$$

$$i_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} \quad (4)$$

인버터를 구성하는 회로에 동일한 펄스를 인가하더라도 인버터 출력단에 연결된 L_{s1} 과 L_{s2} 및 C_1 과 C_2 의 값들이 완전히 동일하지 않기 때문에 식 (1), (2)의 V_{i1} 및 V_{i2} 는 같지 않게 되어 두 인버터 사이에는 필연적으로 순환 전류가 흐르게 된다. 따라서 UPS 병렬운전의 최대 관점은 인버터에 흐르는 순환전류를 최소화하는 것이다. 순환전류는 자기자신에서 공급되는 전류가 부하에 공급되지 않고 다른 인버터에 공급되는 것을 의미하므로, 이를 최소화하기 위해서 각 인버터에서 발생하는 전압 및 전류는 크기가 같고 위상이 동일하면 각 인버터에서 공급하는 전력은 부하로 공급하게 되어 순환 전류가 영이 된다. 이것을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$i_1 = i_2 = \frac{i_o}{2} \quad (5)$$

$$i_{cr} = \frac{1}{2}(i_1 - i_2) \quad (6)$$

(5)식을 만족하기 위해서 전력분담편차제어, 주파수와 전압강하에 의한 제어, 출력모션을 이용한 제어 등이 있으나, 본 연구에서는 회로구성이 간단하면서 신뢰성 확보가 용이한 인버터 출력단의 전압위상과 진폭을 조정하는 전력분담편차제어법을 사용하였다. 그림3은 시스템의 제어 블록도를 나타낸다.

인버터부의 제어는 두개의 교류 출력선간 전압을 검출하여 이 전압과 기준파를 순시 비교하여 편차가 영이 되도록 하는 PWM 방식에 의한 각상제어를 하여 부하의 불평형이 발생하여도 상간의 전압이 동일하게 제어 되도록 한다. 시스템의 병렬제어는 출력단에서 검출된

전류와 자기자신의 전류편차를 유효전력 P와 무효전력 Q로, 검출회로를 통하여 분리하고, P로 검출된 전류는 빠른 응답을 위해서 인버터의 출력주파수를 변화시키고, Q로 검출된 전류는 인버터의 전압진폭을 제어하도록 하였다.

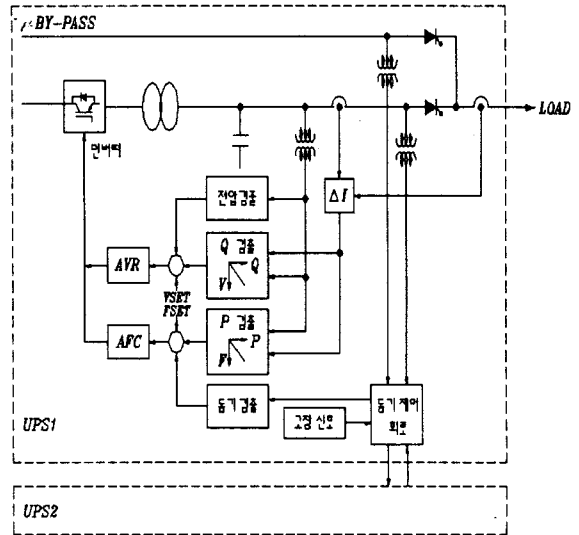


그림3. 시스템 제어 회로도

UPS 병렬운전에서의 중요한 부분은 상용전원과 인버터간의 동기 및 인버터와 인버터간의 위상동기 부분이다. 특히 인버터 상호간의 위상차가 발생할 경우에는 동일한 크기를 갖는 전원도 상차에 의한 순환전류가 발생하게 된다. 본 연구에서는 별도의 동기회로를 구성하여 시스템의 동기화를 실현하였다.

또한 시스템의 상태를 점검하여, 한 시스템에 고장이 발생하였을 경우에도, 다른 정상적인 시스템은 이것으로부터 간섭을 받지 않게 하고 보호하기 위해서 빠르게 분리되어야 하며, 고장난 시스템으로 과도한 순환 전류가 흐르는 것을 방지하여야 한다. 구성된 시스템에서는 전압, 전류감지에 의한 고장감지 및 시스템의 상태를 감지하며, 다른 시스템과 고장 정보를 상호 교환하여 고장난 시스템이 부하단과 분리되도록 하였다.

3. 실험 결과

본 연구에서는 설계된 시스템 및 제어를 시험하기 위하여 삼상 40kVA UPS 두 대를 제작하였으며, 설계된 시스템의 파라미터는 표1과 같다.

UPS의 입출력전압은 삼상 220Vac/208Vac, 직류전압은 243Vdc, 인버터부 출력변압기의 임피던스 전압강하는 스위칭 주파수를 고려하여 5.6%로 하였으며, 시스템의 부하단에 정격용량의 부하를 인가하여 시험하였다.

그림4는 정격부하시 부하단 출력전압 파형이며, 그림5는 출력전압의 THD이다. 출력전압의 파형 및 THD 특성이 우수함을 알 수 있다. 그림6은 UPS1으로 동작중 UPS2가 투입되었을 때의 부하단의 전압(a) 및 전류파형(b), UPS1의 전류파형(c), UPS2의 전류파형(d)이다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 전류 분담이 이루어지고 있다. 그림7은 UPS1과 UPS2가 동작중 UPS2에 고장이 발생하였을 때의 전압 및 전류 파형이다.

표1. 시스템 파라미터

NO	항목	설계요건
1	정격용량	40kVA
2	입력전압	220Vac
3	출력전압	208Vac
4	DC 전압	243Vdc
5	변압기 %임피던스 전압강하	5.6%
6	필터 콘덴서	800 μ F
7	인버터부 스위칭 주파수	7.2kHz
8	인버터 효율	90% 이상
9	부하전류	110A
10	부하역률	0.8

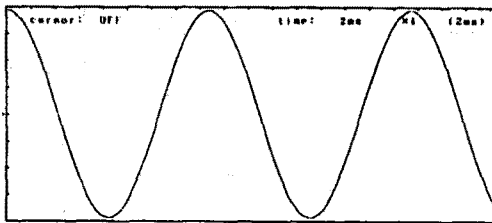
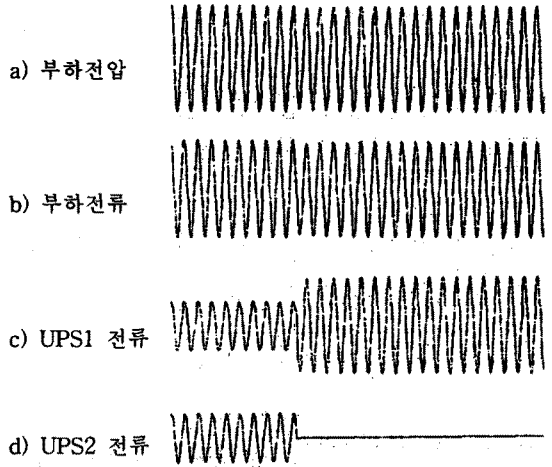


그림4 부하단 출력전압 파형

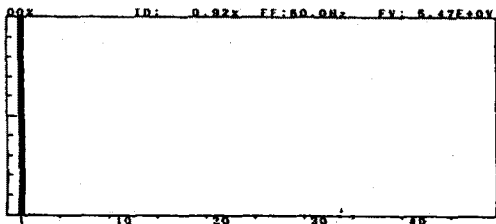


그림5 부하단 출력전압 THD

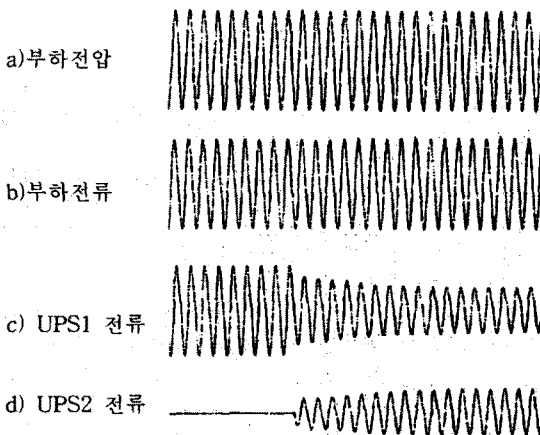


그림6. UPS1로 동작중 UPS2 투입시 전압 및 전류파형

그림7. UPS1, UPS2 동작중 UPS2 고장시 전압 전류파형

4. 결 론

본 논문에서는 출력임피던스가 낮은 시스템을 병렬운전하기 위하여 전류 분담 제어에 의한 제어기를 구성하였고 실제로 40kva 2대를 제작하여 그 성능을 입증하였다. 이를 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 제안된 제어기로 두 대의 UPS를 병렬운전하였을 때 전류분담 특성이 우수함을 확인하였다.
 - 2) 구성된 제어기에 의한 시스템은 빠른 응답과 외란에 대해 견실한 제어가 가능함을 확인하였다.
- 향후 연구과제는 제안된 제어 기법을 사용하여 6대의 UPS 병렬운전 시스템을 구현하는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Takao Kawabata et al., "Parallel Operation of Voltage Source Inverters", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 24, No. 2, pp. 281-287, 1988.
- [2] Takao Kawabata et al., "Parallel Processing Inverter System", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 6, No. 3, pp. 442-450, 1991.
- [3] Joachim Holtz et al., "Multi-Inverter UPS system with Redundant Load Sharing Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 37, No. 6, pp. 506-513, 1990.
- [4] Ned Mohan et al., "Power Electronics : Converters, Applications, and Designs", John Wiley & Sons, 1989.
- [5] Joachim Holtz et al., "A High-Power Multitransistor-Inverter Uninterruptible Power Supply system", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 37, No. 6, pp. 506-513, 1990.
- [6] M. Homb et al., "Quick Response and Low-Distortion Current Control for Multiple Inverter-fed Induction Motor Drives", Conf. Rec., EPE'91 Firenze, pp. 1-043-1-047, 1991.
- [7] 민 병 권 외 "발전소용 무정전전원장치(UPS) 개발", 1997년 하계학술대회, pp 2085-2087, 대한전기학회