

부하전류 분담을 위한 부스트 컨버터의 병렬 구성 및 제어기 설계

송성호^o, 박석하, 김진성, 김양모
충남대학교 전기공학과

The composition of Boost converter and controller design for load current sharing

Sung-Ho Song^o, Seok-Ha Park, Jin-Sung Kim, and Yang-Mo Kim
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National Univ.

Abstract - In this study, we present the DPS system which is consist of several converters in parallel and supply the power to the load. The characteristics of the DPS using AC-bus or DC-bus, and load current sharing technique are discussed. We apply these techniques to the high-power paralleled DC/DC converter, and present the design requirements considered in the system.

1. 서 론

부하의 출력이 증대될수록 전원장치를 구성하는 스위치 및 주변 소자의 정격용량도 함께 증가되며 아울러 동작간 발생하는 전류 및 전압 스트레스도 증가하는 문제가 발생된다. 또한, 컨버터의 성능의 저하시 또는 비정상 동작시에는 부하에 정상적으로 전원을 공급할 수 없기 때문에 이에 대한 대책이 필요로 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 여러개의 컨버터를 병렬로 구성하여 부하에 전력을 공급하는 기술이 연구중에 있다. 이 경우 컨버터의 부하전류를 분산하여 분담하고 각각의 컨버터에 미치는 스트레스를 감소시킴으로써 최적의 컨버터 설계가 가능하게 하고 동시에 구성 컨버터의 고장 발생시 다른 컨버터가 부하전류를 분담하므로써 전원 시스템의 신뢰도와 이용도를 높일 수 있다.

본 논문에서는 직류버스와 교류버스를 이용할 수 있는 분산형 전원장치(DPS, Distributed Power Supply), 부하전류를 분담하는 기술, 그리고 이를 병렬운전용 대용량 컨버터에 적용하고 설계시 고려 사항에 대한 연구를 하고 있다.

2. DPS의 구조

DPS는 단일의 중앙 집중식 전원장치에 비해 출력전력의 확장성, 고신뢰성, 설계 표준화 그리고 용

이한 지속성 등의 많은 장점을 가지고 있다.⁽¹⁾ 대부분 DPS의 구조는 여러 가지 직렬 및 병렬 시스템으로 구성이 되며 분배가능한 직류버스와 교류버스를 형태를 가지고 있다.

그림 1은 DPS의 직류버스와 교류버스의 구조를 보이고 있다. 직류버스 구조에서는 front-end 컨버터와 부하 컨버터라는 두 개의 DC-DC 컨버터 단계로 구성된다. 결과적으로 두 번의 dc/ac와 두 번의 정류가 수행되어야 한다. 각각의 변환은 전력손실을 가지고 있으므로 전체 효율은 저하된다. 교류버스 DPS는 변환이 단지 한번의 dc/ac와 한번의 정류를 수행하기 때문에 직류버스 DPS보다 더 효율이 높아진다.

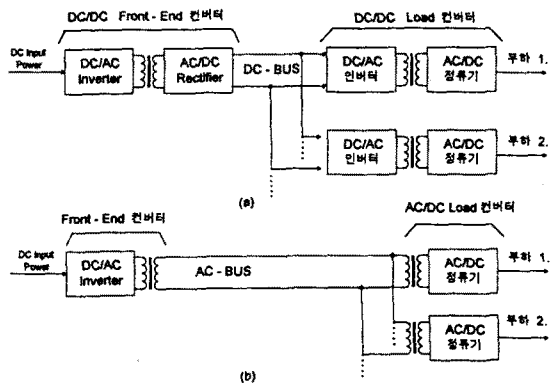


그림 1. DPS의 직류버스와 교류버스의 구조
(a) 직류버스 (b) 교류버스

교류버스 DPS는 고효율, 용이한 변압/변류, 효과적인 접지상 노이즈의 절연, 고전압에서의 아크 단속, 그리고 분산형 변압기를 통한 컨택터없는 분배의 잇점이 있다. 그러나 교류버스 DPS는 다음과 같은 문제점에 기인하여 전원장치로 널리 사용되지 못한다. 첫째, 버스로부터 방사되는 EM 노이즈가 민감한 장비에 간섭을 주기 때문에, 노이즈를 제거하기 위해서는 버스가 케이블로 실드처리하여야 하

고 추가 비용 및 회로가 복잡해진다. 둘째, skin effect가 고주파수에서 버스의 저항성을 증가시키므로 정류된 버스전압단에 상대적으로 커다란 필터가 요구된다. 셋째, 부하 컨버터에 대해 교류전압의 정류는 버스에 포함되는 고조파 전류에 기인한 심각한 문제를 야기할 수 있다. 이 문제를 피하기 위해서는 각각의 부하 컨버터는 입력전류의 낮은 고조파 왜곡과 고역률을 요구한다.

3. 부하전류 분담 기법

병렬형 DC-DC 컨버터에서는 모듈간에 부하전류 혹은 열적 스트레스를 분담하는 명확한 부하전류 분담기법이 요구된다. 만약 부하전류 분담장치가 없다면 모듈의 출력전압에서의 작은 변동률도 출력전류를 상당히 변하게 할 수 있다.^[2]

3.1. 전압강하법

전압강하법은 부하전류 분담 방법 중 가장 간단한 방법으로 부하 분담을 얻기 위해서 전원장치의 출력 임피던스를 프로그램하는 방식이다. 이 방법은 부하전류가 증가할수록 전류중폭기의 출력이 증가하여 실제 귀환되는 전압량이 감소하게 된다. 결국 출력전압이 감소하여 나머지 전원장치가 더 많은 부하를 분담하게 된다.

3.2. 마스터-슬레이브법

이 방법은 전원모듈 중 임의의 한 모듈을 마스터로 설정하여 출력전압을 제어하고 나머지 모듈은 전류원으로 동작시킨다. 오차전압 V_e 가 부하전류와 비례하는 원리를 이용하므로 전류모드 PWM 컨버터에서만 사용할 수 있다. 이 방법은 부하전류 분담은 양호하나 마스터 모듈에 고장이 생겼을 경우 모든 모듈이 정지하게 되므로 여유있는 운전이 불가능하고, 전압루프에 노이즈의 영향이 쉽다.

3.3. 평균전류법

임의의 모듈을 마스터로 설정하지 않고 자동적으로 전류분담 버스의 평균 부하전류 신호를 받아서 각 모듈의 부하전류와 비교하여 기준전압을 조절하는 방식이다. 이 방법은 부하분담이 비교적 정확하고 별도의 마스터 모듈을 필요하지 않으므로 여분의 전원시스템 구축이 용이하나, 분담신호 버스가 단락되거나 어떤 모듈이 전류제한에 걸려 출력전압이 떨어질 때 분담신호 버스가 낮아지므로 고신뢰성 여분의 전원시스템을 구축하는데 불리하다.

3.4. 최대전류법

임의의 모듈을 마스터로 설정하지 않고 자동적으로 최대부하전류 신호를 받아서 각 모듈의 부하전류와 비교하여 기준전압을 조절하는 방법이다. 분담신호 버스에 최대부하를 공급하는 모듈의 신호를 전송하기 위해 그림 2와 같이 각 모듈의 전류모니

터가 다이오드를 이용하여 분담신호 버스를 구동하도록 구성된다.

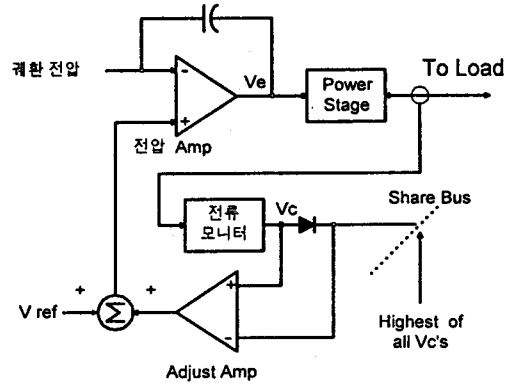


그림 2. 최대전류법의 기본 구성

이 방법은 부하분담이 비교적 정확하고 별도의 마스터 모듈을 필요로 하지 않으므로 여유로운 시스템 구축에 유리하며 어떤 모듈이 전류제한에 걸려서 출력전압이 떨어져도 분담신호 버스에는 영향을 미치지 않으므로 분담신호 버스가 단락되어도 각 모듈이 자동적으로 개별운전되기 때문에 여분의 전원시스템을 구축에 가장 적절한 방법으로 사려된다.

4. DPS를 적용한 병렬운전용 대용량 컨버터

병렬운전용 대용량 고밀도 컨버터에 요구되는 기술로는 고밀도화를 위하여 고주파 소프트 스위칭 기술과 손쉽게 출력의 증가와 고신뢰도를 위해 다수의 컨버터를 병렬로 구성하는 기술이 요구된다.

그림 3은 병렬운전용 대용량 컨버터 시스템을 보이고 있다. 상용전원을 정류하고 변압기를 통하여 수십 kV로 승압한 후 다시 정류하여 부하에 공급된다. 이 경우 정류된 직류전압이 출력커패시터의 충전전압보다 큰 경우에만 충전될 수 있으므로, 만약 불연속 전류가 흐를 때에는 역률의 저하 및 침투전류치가 증가될 수 있고, 그리고 전압/전류 스트레스가 증가하는 등의 많은 문제점이 발생되며 특히 변압기의 부피 및 중량이 증대되어 컨버터를 고밀도화할 수 없으며, 충전시간이 길어지게 된다.^[3]

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 시스템에서는 고밀도화를 위하여 소프트 스위칭 기술을 도입한 고주파 역률개선 컨버터 및 인버터 기술을 활용하고, 컨버터의 부하전류 분담을 감소시킴과 동시에 고장발생에 대비하여 다수개의 컨버터를 병렬로 구성하여 제어하고자 한다.

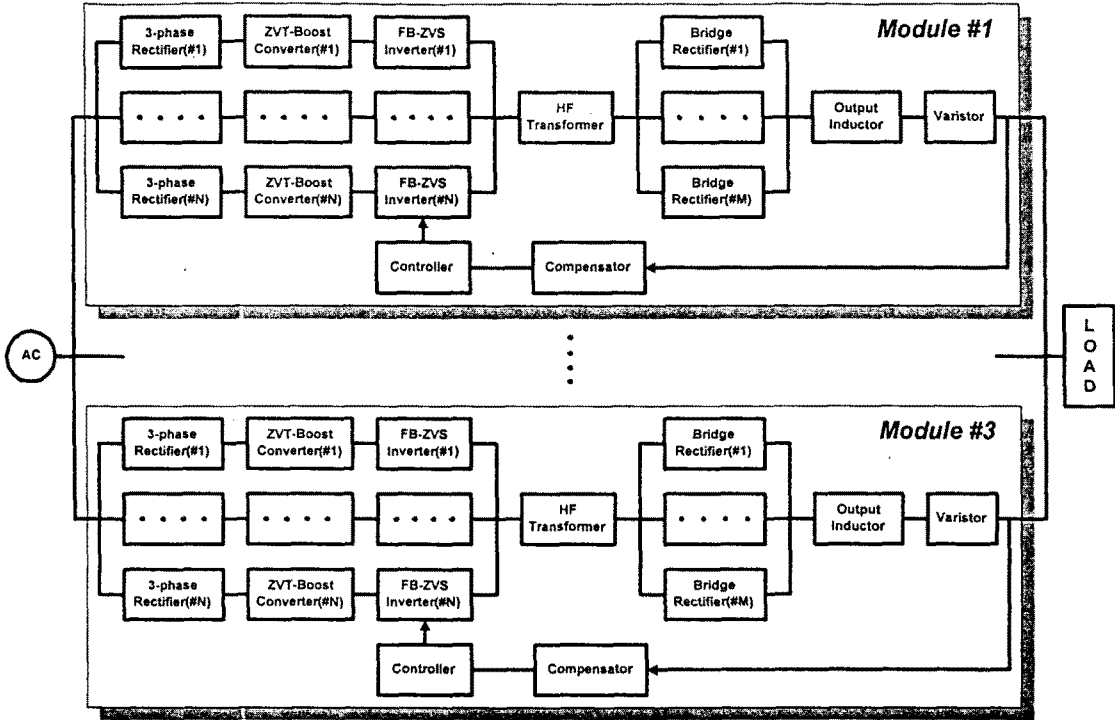


그림 3. 병렬운전용 대용량 컨버터 시스템

5. DPS를 위한 설계 고려사항

직류버스 DPS의 설계는 분산 버스전압의 선택, front-end와 부하 컨버터의 최적화, 그리고 시스템의 집적화 등과의 많은 trade-off가 필요하다.

버스전압의 선택은 모든 전력시스템의 구성요소에 영향을 끼치기 때문에 DPS 설계에 중요한 요소가 된다. 버스전압의 선택시 주요 고려사항으로는 전력수준, 안전성 고려사항, 그리고 배터리 백업 요구 등이 있다.

고신뢰성이 요구되는 시스템에서 특히 병렬형 Front-end dc/dc 컨버터 모듈을 사용하는 것이 매우 유리하다. 최적의 수행능력을 제공하기 위해서 모듈간의 부하전류 분담이 확실하여야 한다. Front-end 전력처리장치의 기능으로는 라인 정류 및 필터, PFC 및 입력 라인 전류 고조파 억제, dc/dc 변환, 그리고 홀드업(hold-up)을 위한 에너지 저장 등을 수행한다.

DPS 개념의 성공 여부는 경량, 효율적, 저노이즈, 그리고 저비용의 부하 컨버터의 유용성 등에 크게 좌우된다. 이러한 적절한 고밀도와 고효율을 얻기 위하여 전력 반도체 소자 및 자기 재료의 향상이 필연적이다.

DPS 응용에 관련된 고려사항으로 또한 구성요소 사이의 시스템 집적화와 상호작용이 있다. DPS의

동특성 측면에서 상호 배치는 컨버터 모듈의 병렬형과 직렬형으로 된다. 그리고 대부분의 응용에서 시스템이 복잡해질수록 DPS에 필연적으로 EMI 필터가 요구된다.

6. 결 론

본 연구에서는 다수의 컨버터를 병렬로 구성하여 부하에 전력을 공급할 수 있는 DPS에 관한 연구를 행하였다. 직류버스와 교류버스를 이용하는 DPS 기술, 병렬형 DC-DC 컨버터에서 모듈간 부하전류와 열의 방산을 적절히 분담할 수 있도록 부하전류의 분담기술, 아울러 이러한 시스템을 병렬운전용 대용량 컨버터에 적용하여 그 타당성을 입증하였다.

[참고문헌]

- [1] W. A. Tabisz, M.M. Jovanovic, F.C. Lee, "Present and Future of Distributed Power Systems", IEEE Applied Power Electronics Conf. Proc., 1992, pp. 11-18.
- [2] Y. Panov, J. Rajagopalan, and F.C. Lee, "Analysis and Design of N Paralleled DC-DC Converters with Master-Slave Current-Sharing Control", IEEE Applied Power Electronics Conf. Proc., 1997, pp. 436-442.
- [3] W.G. Homeyer, R.J. Callanan, E.E Bowles and A. Nerem, "1.2 MW DC-DC Converter", IEEE Trans. on Magnetics, vol. 29, no.1, Jan. 1993, pp 992-996.