

# 컨버터 병렬운전을 위한 디지털 Load Sharing 기법

유광민\*, 김원용\*, 박승희\*, 이동후\*\*, 김윤성\*\*, 정유석\*, 이준영\*  
 명지대학교 전기공학과\*, (주)동아일렉콤\*\*

## Digital Load Sharing Method for Converter parallel Operation

Kwang-min Yoo\*, Won-yong Kim\*, Seng-hee Park\*, Dong-hoo Lee\*\*, Yun-Sung Kim\*\*, Yu-seok Jeong\*, Jun-young Lee\*

Department of Electrical Engineering, Myongji University\*, DONGAH ELECOMM Corporation\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 2KW급 LLC 컨버터를 적용한 전원장치의 병렬운전 및 Load Sharing 기법을 제안한다. 각 모듈의 제어기로는 TI사의 TMS320F28035를 사용하였으며 모듈 각각의 독립적인 전압제어를 담당한다. 그리고 Load Share 모드에서는 CAN통신을 사용하여 각 전원장치의 전류제어 및 전압제어를 수행한다. 각 모듈에 전체전류의 1/N의 균일한 전류를 흐르게 하여 각 모듈에 임피던스 불균형으로 인한 스트레스를 줄일 수 있다. 기존방식은 마스터(Master) 모듈의 지령치에 따라 슬레이브(Slave)모듈에서 부하 분담을 수행하는 반면, 제안된 Load Share 알고리즘은 멀티 마스터(Multi Master: MM) 방식으로써 각 모듈의 평균전류를 레퍼런스로 갖는 구조로 정확한 부하 분담을 수행한다.

### 1. 서론

최근 전원장치의 대용량화가 요구되면서 하나의 전원에서 모든 전력을 부담하는 것보다 여러 대의 전원을 병렬 운전하여 신뢰성을 높이고 용량을 증대시키는 방안이 연구되고 있다. 특히 통신서버용 전원에서는 서버 안정성을 위해서 컨버터의 병렬운전은 필수적인 요소로 자리를 잡고 있는 실정이다. 하지만 실질적으로 시스템을 구성하는 소자들이 특성이 이상적이지 않으며 또한 각 모듈의 임피던스가 상이하기 때문에 순환전류가 발생하여 병렬 시스템 상호간 심각한 불평형 전류가 흐르게 되어 단일 모듈의 고장 원인이 된다. 따라서 이를 개선하기 위한 부하분담 알고리즘이 필요하게 된다.<sup>[1][2][3]</sup> 그리고 통신용 전원에서는 신뢰성 확보를 위한 여러가지의 보호장치가 필요하다. 그 중, 각 모듈에서 부하의 정격에 대해서 여유를 갖게 하는 Derating mode, 그리고 출력단의 단락시 모듈의 보호를 위해 fault가 해제 될 때까지 short hiccup mode가 대표적이라 하겠다. 병렬운전중 이 두 가지의 보호회로 적용시 빠른 응답 특성이 없게 되면 정확한 부하 분담이 이루어지지 않게 된다.

제안된 제어 알고리즘의 의한 타당성을 검증하기 위해서 실제 2KW급 전원장치 2대를 제작하여 병렬운전 시 정상상태 및 과도상태에서 정확한 부하분담 알고리즘이 이루어지는 것을 실험 및 검증하였다.

### 2. 제안된 Load Sharing 알고리즘

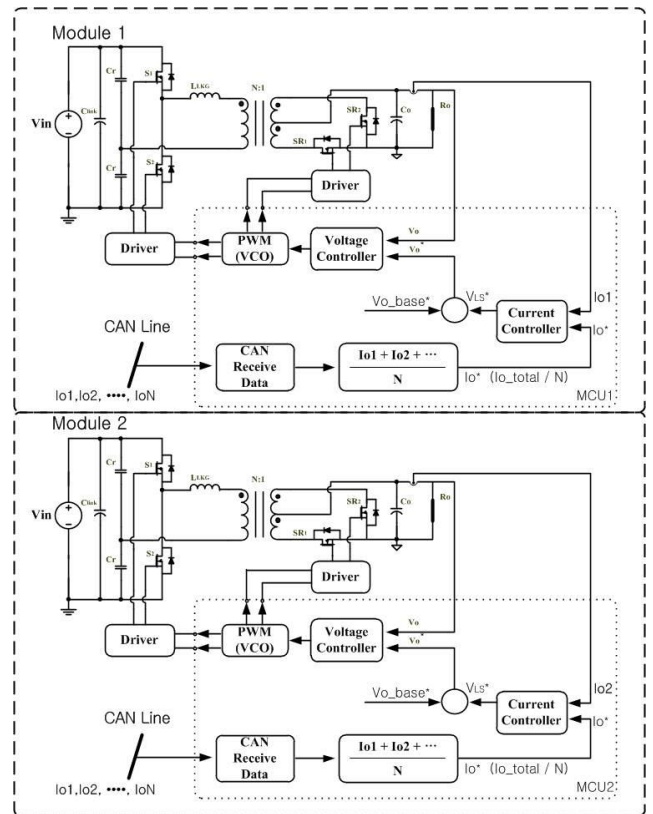


그림 1 제안된 LLC 컨버터의 디지털 부하분담 알고리즘  
 Fig. 1 Digital load sharing control of LLC Converter

기존의 마스터(master), 슬레이브(Slave)방식은 마스터의 고장시 전체 시스템이 정지되는 큰 문제를 야기시킬 수 있어 부가적인 알고리즘이 필요하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서 제안된 부하분담 알고리즘은 CAN을 이용하여 병렬운전시 연결된 모듈의 수와 연결된 모듈의 전류값을 실시간으로 모니터링 하여 이때 각 모듈의 전류의 합을 모듈의 수 만큼 나누어 평균전류 레퍼런스( $I_o^*$ )를 갖는 구조로 정확한 부하 분담을 수행한다. 모듈의 독립운전시 평균전류 레퍼런스는 각 모듈의 실제전류로 실질적으로 정전압 제어만 수행하게 되며 N개의 모듈이 연결되어도 각 모듈의 평균전류 레퍼런스로 인하여 각각의 모듈에서 부담해야 하는 실제전류는 평균전류 레퍼런스를 따르게 된다. 그림 1은 제안된 병렬운전을 이용

한 디지털 제어 블록도 이다. 컨버터의 보호장치로 병렬운전중 한 모듈의 이상동작으로 그 모듈에 할당된 전류를 다른 모듈에서 감당하게 되는데 이때 다른 모듈들은 정격보다 큰 전류를 부담하게 될 지도 모른다. 정격보다 많은 전류를 흘리기 위해서 각 모듈은 일정 전압까지 낮추어 derating mode로 동작하게 하고 한계전압까지 낮아지게 되면 저전압 protection으로 각 모듈은 Hiccup mode로 진입하여 fault가 해제 될 때 까지 동작을 하게 된다. 또한 출력 단이 단락되었을 때 단락 해제시 까지 Hiccup mode를 반복하게 되어 각 모듈의 안정성과 전체 시스템의 신뢰성을 높였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

제안된 부하 분담 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 2KW급 LLC AC DC컨버터 2대를 제작하고 병렬운전을 통해 정확한 부하분담이 이루어지는 지를 실험하고 검증하였다. 제작한 컨버터는 Link전압이 390V~410V까지 가변되고 이에 따라서 출력전압이 43V~ 57V 가변되는 형태의 컨버터 이며 테스트 조건은 DC\_link전압 390V, 출력전압 43V로 적용하였다. 그림 2는 제안한 평균전류 레퍼런스 추종 알고리즘을 적용한 실험 결과 파형이다. Dynamic Load Change시 두 모듈이 정확한 평균전류의 값을 추종하는 것을 확인할 수 있다.

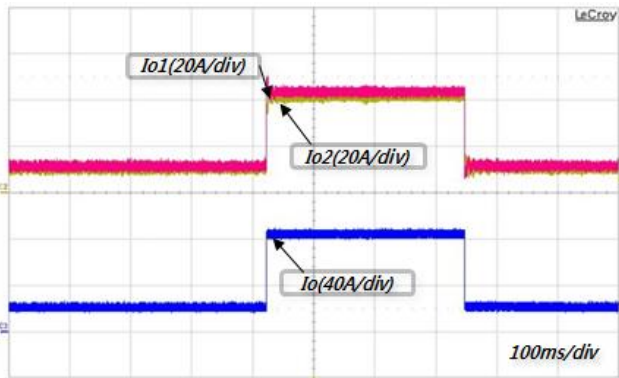


그림 2 실험 결과 파형  
Fig. 2 Experimental waveform of Load Sharing

그림 3은 병렬운전시 제안한 컨버터의 신뢰성과 안정도를 높이기 위하여 검토한 전체 시퀀스 파형이다. 실험 조건은 전체출력 1.6KW로 제한하였으며 Derating 진입조건은 1200W로 제한하였다.

- ① 무부하 기동
- ② 부하 400W
- ③ 부하 1200W(Derating 진입: 출력전압 감소)
- ④ 부하 1600W(Derating mode : 출력전압 38V)
- ⑤ Derating Hiccup mode
- ⑥ Derating mode 해제( 부하 400W)
- ⑦ 출력단 단락
- ⑧ Short Hiccup mode 동작
- ⑨ 출력단 단락 해제( 1번 모듈 정상 동작)
- ⑩ 2번 모듈 정상동작, 병렬운전 시작

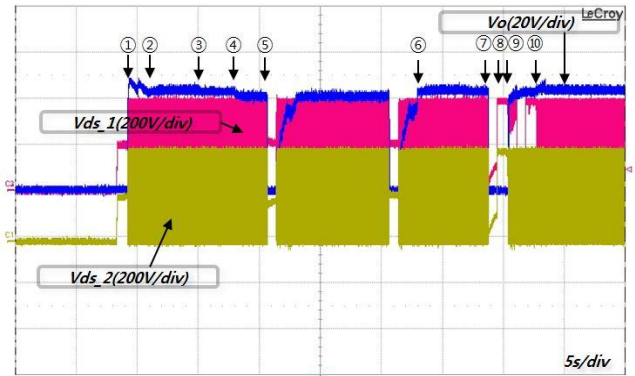


그림 3 전체동작 시퀀스 파형  
Fig. 3 Sequence waveform

표 1 부하분담시 각 모듈의 전류  
Table 1 Steady-State Load Sharing Current

Io1[A]	11.17	20.92	31.61	39.85
Io2[A]	10.64	21.45	31.19	40.32
Io/2 [A]	10.905	21.185	31.415	40.085
$\Delta Io$	0.53	0.53	0.42	0.47

### 3. 결 론

본 논문에서는 디지털 병렬운전을 위한 새로운 부하분담 알고리즘을 제안하였다. CAN통신을 이용하여 병렬운전제어를 연구하였고 Load Sharing 실험을 진행하였다. 부가적으로 모듈의 사고, 이상동작 발생 시 전원장치의 보호를 위해서 보호알고리즘을 적용하였으며 보다 효과적으로 동작할 수 있는 통신서버용 전원장치로서의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 (주)동아일렉콤 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참 고 문 헌

- [1] Seong Mi Park, Chun Sung Kim, Sang Hyeok Lee, Sang Hun Lee, Sung Jun Park, and Bae Ho Lee., "디지털 병렬 통신을 이용한 부하분담 알고리즘", 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제16권 제1호 2011.2 page50 57
- [2] Y. Panov, J. Rajagopalan, and F. C. Lee, "Analysis and Design of N Parallel DC DC Converters with Master Slave Current Sharing Control", APEC'97, pp436
- [3] Perreault D. J. Sato, K, Kassakian, J. G., "Switching ripple based current sharing for paralleled power converters," Power Conversion Conference Nagaoka 1997, pp. 473 478, 1997.