

새로운 병렬통신 알고리즘 및 부하분담 기능을 갖는 전자부하기

주홍주, 이상혁*, 김승룡*, 안강순, 박성준*
(주)윌링스, 전남대학교*

A Novel Parallel Communication Algorithm and Load Sharing Electronic Load

Hong-Ju Ju, Sang-Hyuk Lee*, Seung-Ryong Kim*, Kang-Soon Ahn, Sung-Jun Park*
Willings Co.LTD, Chonnam National University*

ABSTRACT

최근 전원장치의 대용량화가 요구되면서 하나의 전원에서 모든 전력을 부담하는 것보다 여러 대의 전원을 병렬 운전하여 신뢰성을 높이고 용량을 증대시키는 방안이 연구되고 있다.^[1] 본 논문에서는 병렬 연결된 전원장치에 부하전류 분배를 하는데 있어 디지털 방식을 사용하여 고속 통신을 통한 제어를 이루어 시스템 비용을 낮추고 높은 수준의 제어 로직을 구성하여 부하 변동시 안정된 부하분담이 이루어지는 모듈화 된 일정 용량의 전원 장치를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

전원장치의 병렬 운전에서 가장 중요한 것은 각 전원장치의 부하 전류를 균등히 분담하고 안정화 시키는 것이다. 본 논문에서는 병렬 연결된 전원장치에 부하전류 분배를 하는데 있어 MCU를 사용하여 고속 통신을 통한 디지털 제어를 함으로서 부하 변동의 발생 시 안정된 부하 분담이 이루어지는 모듈화 된 일정 용량의 전원 장치를 제안하고 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안된 전력 변환기의 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 병렬운전 부하분담 분석

그림 1에서 병렬 연결된 전원 장치의 전력분담 특성을 분석하기 위한 등가회로를 나타내었다.

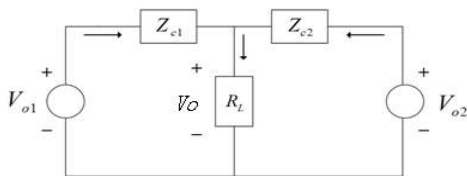


그림 1. 전력분담 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of power sharing

V_{o1} , V_{o2} 는 각 전원장치의 초기설정 출력 전압이며, V_O 는 출력 전압으로 각 모듈이 동등한 값을 가진다. Z_{c1} , Z_{c2} 는 각 전원장치 출력단과 부하저항 사이의 선로저항이며, R_L 은 부하 저항을 나타낸다. 각 전원장치가 분담하는 출력전류 I_{o1} , I_{o2} 는 다음과 같다.

$$I_{o1} = \frac{(V_{o1} - V_{o2}) \cdot R_L + V_{o1} \cdot Z_{c2}}{R_x} \quad (1)$$

$$I_{o2} = \frac{(V_{o2} - V_{o1}) \cdot R_L + V_{o2} \cdot Z_{c1}}{R_x} \quad (2)$$

$$R_x = (Z_{c1} + Z_{c2}) \cdot R_L + Z_{c1} \cdot Z_{c2} \quad (3)$$

병렬 연결된 모듈이 동등한 전류를 분담하고 있다면 $I_{o1} = I_{o2}$ 이므로 식 (1), (2), (3)로부터 식(4)을 구할 수 있다.

$$V_{o2} \cdot Z_{c1} - V_{o1} \cdot Z_{c2} = 2 \cdot R_L \cdot (V_{o2} - V_{o1}) \quad (4)$$

식 (4)에서 각 모듈의 초기설정 출력전압이 같다고 가정하면, $Z_{c1} = Z_{c2}$ 가 되어야 한다. 그러나 Z_{c1} 과 Z_{c2} 는 물리적으로 일치하지 않으므로, 균등한 출력전류를 분담하기 위해서는 초기설정 출력전압 V_{o1} , V_{o2} 를 제어해야함을 알 수 있다.

2.2 기존 병렬운전 부하분담

2.2.1 평균전류방식

그림 2는 평균전류방식의 제어를 나타내고 있으며, 전류 모니터가 저항을 통하여 공통분배버스를 통하여 전류정보 교환을 이루어 부하분담을 이루는 방식이다. 그림 2에 보이는 저항의 양단에 전압차이를 확인하고 부하의 전류를 조절하는 방식이다. 하지만 이러한 방식은 전체 출력전류 정보를 위해 부가적인 전류검출이 필요하며 연결된 모듈의 고장 시 신뢰성이 저하된다.

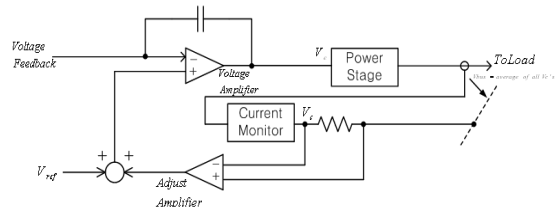


그림 2. 평균전류방식 제어기
Fig. 2. Circuit diagram of average current method

2.2.2 전용마스터방식

그림 3은 전압을 제어하기 위해 마스터(Master) 모듈을 선택하고, 남아있는 모듈(Slaves)은 전류모드로서 동작하는 전용 마스터 방식이다. 이 방식은 전압 오차가 부하 전류에 비례하므로 전류모드 제어로 용이하다. 이와 같은 방식은 균등한 부하 전류분배를 이룰 수 있지만 마스터가 고장나면 전체 시스템이 사용되어질 수 없어 Redundancy를 이룰 수가 없다.

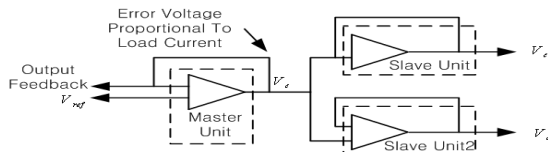


그림 3. 전용 마스터 방식
Fig. 3. Circuit diagram of exclusive master method

2.3 제안하는 부하분담 통신 알고리즘

그림 4는 본 논문에서 제안하는 부하분담 통신 알고리즘으로 토큰버스 방식의 통신 구조를 제안한다. 각 전원 장치들은 독립적으로 제어 가능하고 제안된 토큰버스 방식의 통신구조는 토큰 링 방식을 변형한 것으로 그림 4에서 볼 수 있듯이 버스형식의 통신망에서 통신 회선에 대한 제어신호(토큰)가 논리적으로 형성된 링에서 각 노드 간을 옮겨가면서 데이터 전송을 수행하는 방식이다. 토큰은 논리적 링의 위치와 관계없이 모든 노드가 가질 수 있고, 양방향 통신이 가능하다.

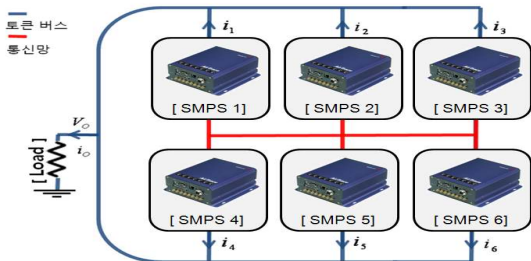


그림 4. 토큰버스 방식의 통신구조
Fig. 4. Network system of token bus method

표 1 마스터 데이터 프로토콜

56Bits (7Byte)					
전송 IP	Mode코드	전류지령치	전류지령치	제어기 적분치	제어기 적분치
4Bits	4Bits	12Bits	12Bits	12Bits	12Bits

표 2 슬레이브 데이터 프로토콜

32Bits (4Byte)							
Slave1 - 8Bits (1Byte)		Slave2 - 8Bits (1Byte)		Slave3 - 8Bits (1Byte)		Slave4 - 8Bits (1Byte)	
전송 IP	동작 여부	전송 IP	동작 여부	전송 IP	동작 여부	전송 IP	동작 여부
4Bits	4Bits	4Bits	4Bits	4Bits	4Bits	4Bits	4Bits

병렬 부하분담을 위해 Master 전원장치에서 Slave 전원장치에게 주는 데이터 프레임구조는 표 1과 같고 표 2는 Slave인 전원장치가 자신의 동작여부를 다른 모듈에게 전송하는 데이터 프레임이다. 이와 같은 통신 프로토콜에 의해 Master 전원장치 및 Slave 전원장치들이 모두 통신할 시간인 토큰의 1회전 시간은 11Byte 전송량이 되며, 이와 같은 통신량은 5Mbps/s의 통신 속도로 네트워크를 구축할 시 약 18μ[sec]가 되어 실시간 제어가 가능하다.

2.4 시뮬레이션

그림 5는 PSIM을 이용하여 제안된 토폴로지의 타당성을 검증하기 위한 회로도이다. 500W급 전원장치 5개로 구성하였으며, Redundancy를 위한 500W급 전원장치를 1개 추가하였다. 각 전원장치는 DIP 스위치에 의해 송신IP가 부여되며, 시분할 개념에서 가상토큰을 취하는 방식으로 구성되었다. 토큰을 부여받은 전원장치는 자신의 IP와 상태가 다른 전원장치 모두에게 전송한다. 현재 마스터 전원장치는 전압제어를 수행하며, 전압제어의 출력인 전류 지령치와 제어기의 적분 결과 값을 전송

한다. 예비 전원장치는 수신 모드로 동작을 하며 각 모듈의 통신신호를 체크하고 토큰 활성화에 따른 전원장치의 신호가 없는 경우 즉각 Redundancy로 투입되어 고장에 대체할 부하분담을 진행한다.

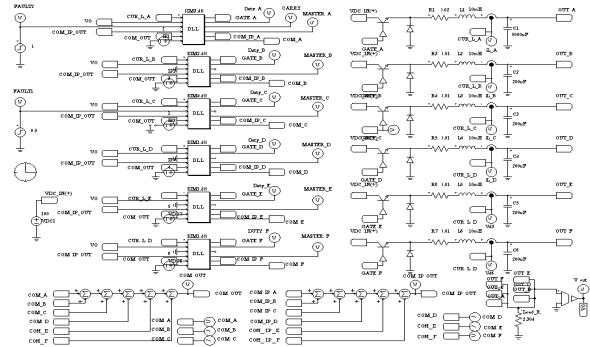


그림 5. 시뮬레이션 회로도
Fig. 5. Simulation circuit

그림 6에서 보이는 바와같이 10m[sec]안에 자신의 IP를 확인하여 3대의 모듈이 부하분담을 이룸을 알 수 있다. 또한 30m[sec]와 70m[sec]에 한 대의 전원장치 모듈이 Fault가 일어났을 때 대기하고 있던 모듈의 Redundancy가 이루어 짐을 확인할 수 있었다.

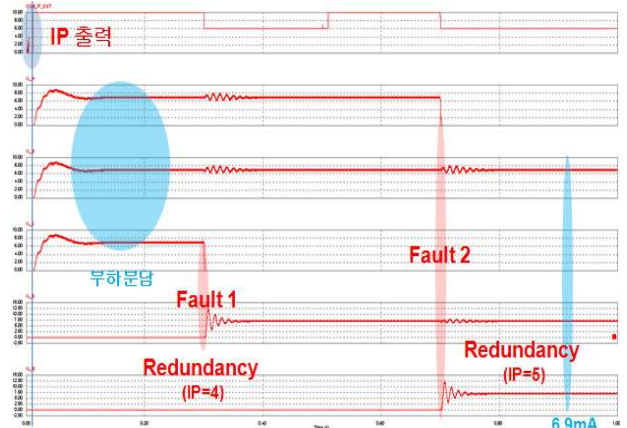


그림 6. 시뮬레이션 결과파형
Fig. 6. Simulation result waveform

3. 결론

제안된 병렬운전 통신 알고리즘 및 부하분담 기능을 갖는 전자부하기는 독립적으로 제어됨으로써 병렬 연결된 전원장치의 고장에도 N+1 Redundancy를 확보하여 신뢰성이 크게 향상되며, 고속 통신을 통한 디지털 제어를 함으로서 부하 증가에 따라 필요 용량만큼 전원장치를 추가하여 출력용량의 변경이 용이할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] David Ki-Wai Cheng, "A current-sharing interface circuit with new current-sharing technique", IEEE, Vol.20, No. 1, January, 2005.
- [1] 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-.