

# 고전압 소스를 위한 모듈식 병렬운전 알고리즘

우병국, 이용화, 강찬호, 조관열\*  
 동아일렉콤, \*충주대

## Module Type Parallel Driving Algorithm for High Voltage Direct-Current source

Byung-Guk Woo, Yong-Hwa Lee, Chan-Ho Kang, Kwan-Yuhl Cho\*  
 Dongah Elecomm Corp., \*Chungju Univ.

### ABSTRACT

For high voltage DC-DC converters, the parallel operation of several high voltage source modules is necessary to reduce the material cost. In the conventional parallel operation with HDC module control unit, it is difficult to repair the HDC system for the failure of control unit. To overcome these problems, new parallel operating algorithm for high voltage DC-DC converter is presented. The proposed algorithm has no main control unit and each module can be selected as the master according to the operating conditions. Therefore, one of modules can be replaced as the master immediately when the previous master module is failed. In addition, the extension of extra modules can be simple.

Key words : HDC(High-Voltage Direct Current), 3-Phase PFC(Power Factor Correction), Parallel Control.

### 1. 서론

3상 전력변환장치는 통신용 전원장치, 인버터 구동용 전원 등 여러 분야에서 폭넓게 이용되고 있다. 그러나 고전압 소스는 특성상 용량 증가 시 비용이 크게 증가하고 입력 단 소자들이 큰 전류 내량을 감당해야 한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하면서 용량을 증가시키기 위해 여러 개의 고전압 소스 모듈을 연결하여 병렬 운전하는 제어 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 병렬운전 알고리즘은 병렬로 연결된 모듈이 각각 독립(stand-alone) 방식으로 동작하기 때문에 시스템운영에 있어 장비에 대한 1:1 접근이 가능하다. 개별적인 모듈들은 모두 Master로 선택될 수 있기 때문에 시스템 구성 시 유연성을 갖게 되고 유지 보수가 용이하다.

본 논문의 2장에서는 개별적인 모듈의 동작원리를 설명하고 3장에서는 제안된 병렬제어 알고리즘에 대해 기술한다.

### 2. 개별적인 고전압소스 모듈

#### 2.1 개별적인 고전압소스 모듈의 특성

그림 1은 병렬제어에 적용된 단위 고전압 소스 모듈의 회로를 나타낸다. 단위모듈은 3상 교류 입력을 받아서 900V의 직

류 고전압을 출력한다. 브릿지 당 두개의 스위치가 직렬연결된 모듈 회로는 정격전압을 반으로 줄일 수 있기 때문에 스위치의 도통손실(Conduction loss)을 줄일 수 있다. 따라서 전압 소자 선택에 있어서 이득을 얻을 수 있다. 또한 두 출력 측 커패시터가 직렬로 연결되어 있으므로 모듈 내부에서 분리하여 전압을 제어하는 것이 가능하다.

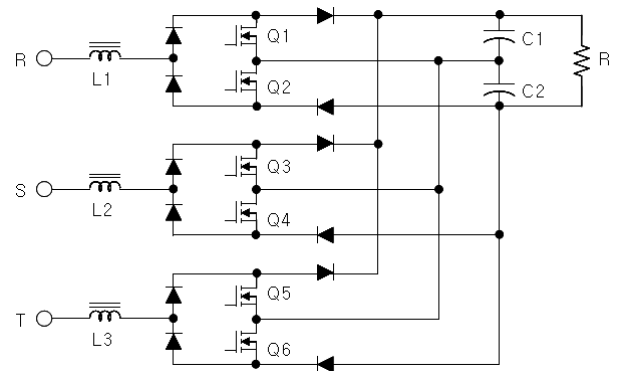


그림 1. 고전압 DC-DC 컨버터의 회로  
 Fig. 1 High voltage DC-DC converter circuit

그림 2는 고전압 DC-DC 컨버터 모듈의 제어 블록도를 나타낸다. 제어부는 부하분담(Load sharing)과 정보수집 및 관리 기능을 한다.

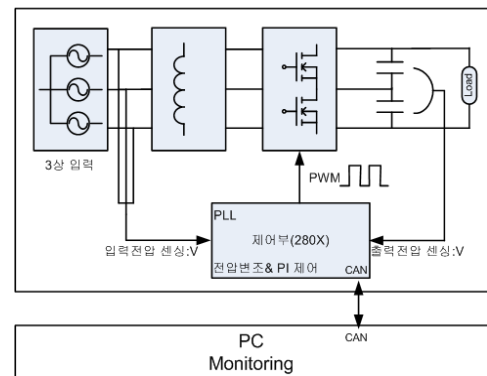


그림 2 고전압소스 모듈 블록도  
 Fig. 2 Block diagram of high voltage DC-DC converter module

HDC 회로의 입력 측에서 검출된 전압과 전류로부터 제어부는 PLL(Phase locked loop)과 보호회로(Circuit protect)의 기능을 수행한다. HDC 회로의 출력측에서 검출된 출력전압은 PI 제어기와 기준전류 정보를 이용하여 PWM 제어를 수행한다.

기준전류 정보는 CAN Bus를 통해 얻어진 정보 중 전체 전류의 총합을 모듈의 수로 나눈 것이다. 전체전류의 총합과 모듈 수의 확인은 Master 모듈에서 수행한다.

### 2.2 HDC 동작모드 해석

고전압소스 모듈에 3상 교류전압이 인가되면 R, S, T 3상의 전압에 따라 그림 3 에 나타난 바와 같이 6개의 모드가 발생한다. Case 1 은 R 상에서 S상으로 전류가 흐르는 상태를 나타낸다. 또한 Case 2는 R상 및 S상에서 T상으로 전류가 흐르는 상태를 나타낸다.

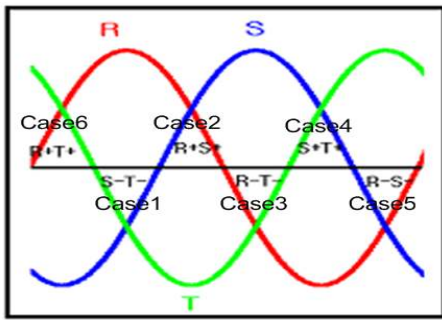


그림 3 동작모드 위상상태에 따른 구분  
Fig. 3 Mode analysis with phase state

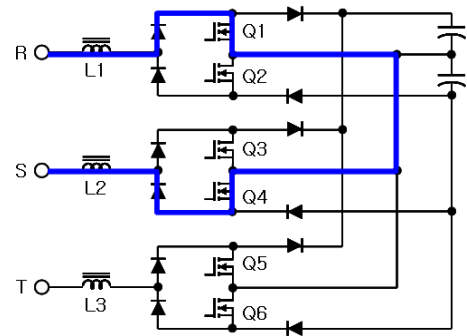
표 1은 그림 3에 나타난 6개의 모드에서 한 브릿지 내의 두 개의 스위치가 동시에 On 되어 브릿지가 단락(short)되지 않기 위한 스위치의 동작상태를 나타낸다.

표 1 동작모드별 스위칭 상태  
Table 1 Switching states of operating modes

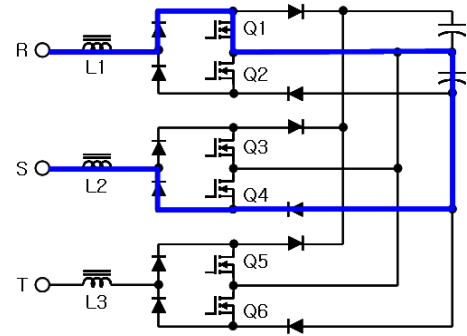
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Case 1 (R+S-T-)	X	0	0	X	0	X
Case 2 (R+S+T-)	X	0	X	0	0	X
Case 3 (R-S+T-)	0	X	X	0	0	X
Case 4 (R-S+T+)	0	X	X	0	X	0
Case 5 (R-S-T+)	0	X	0	X	X	0
Case 6 (R+S-T+)	X	0	0	X	X	0

(X : 1 or 0)

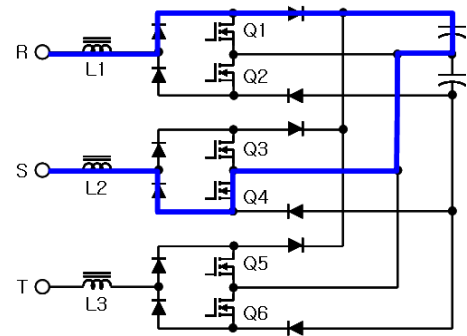
Case 1에서 전류가 R상에서 S상으로 흐르는 경우 S1, S4의 스위칭상태에 따라 4가지 모드를 가지게 된다. 즉 Case 1에서 S1 과 S4 스위치는 Don't care 상태이므로 (S1, S4)는 (1, 1) (1, 0) (0, 1) (0, 0)의 4가지 경우를 가질 수 있다. 그림 4는 스위치 S1, S4의 스위칭 상태에 따른 4개의 동작모드를 나타낸다. 고전압소스 모듈은 그림 4에 나타난 동작모드를 6개의 구간별로 반복함으로써 두 개의 출력 커패시터를 같은 값으로 충전(charging)하여 알맞은 전압을 출력한다.



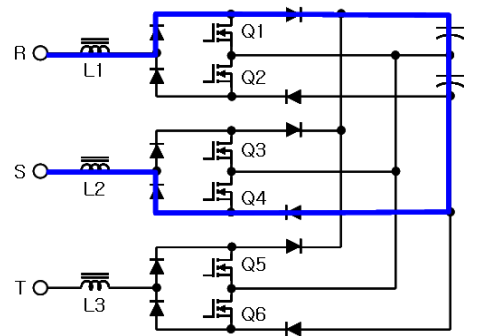
(a) (S1, S4) = (1, 1)의 경우



(b) (S1, S4) = (1, 0)의 경우



(c) (S1, S4) = (0, 1)의 경우



(d) (S1, S4) = (0, 0)의 경우

그림 4 Case 1 에서 S1, S4의 스위칭상태에 따른 동작모드  
Fig. 4 Operating modes with switching states of S1 and S4

### 3. HDC모듈의 병렬제어

#### 3.1 병렬제어 알고리즘

그림 5는 HDC를 Stand-alone 방식으로 구성한 병렬제어 순서도를 나타낸다. 이는 2장에서 기술한 다수 개의 HDC 모듈을 효율적으로 운전하기 위한 알고리즘을 나타낸다. 먼저 다수 개의 모듈을 가진 시스템이 RUN 동작명령을 받으면 각자 모듈을 초기화 한다. 이후 자신이 Master ID를 가졌는가를 체크한다. 이는 자신이 가상변지(Virtual ID) 0(Zero)번의 Master ID를 가졌는지의 여부로 판단하는데 자신이 Master ID를 가졌다면 Bus로 Master ID를 지속적으로 발송한다. Master ID가 CAN BUS에 있을 때 Master가 아닌 다른 Slave ID를 가진 모듈들은 Load share 정보만을 발송하여 CAN BUS load를 높이지 않는다. 자신이 Master가 아닌 모듈의 경우는 Master가 존재하는지의 여부를 체크해 Master가 발송하는 ID가 BUS상에 존재함을 확인한 후 자신을 Slave로 세팅한다. 만일 Master를 잃어버려 BUS에 Master ID가 존재하지 않으면, 자기 고유의 ID를 발송하고 비교하여 이중 가장 순위가 높은 ID를 가진 모듈이 Master가 되고 나머지 모듈들은 Slave가 된다. 여기서 Master가 된 모듈은 ID를 가상 Master ID 0으로 설정한다. 완전하게 Master 모듈로 설정된 새로운 모듈은 BUS로 자신의 Master ID를 발송한다. 이러한 알고리즘을 통해서 모든 모듈은 개별적으로 상태를 체크하게 된다. 따라서 변화에 능동적으로 대처하면서도 BUS load를 높이지 않는 시스템을 구성할 수 있다.

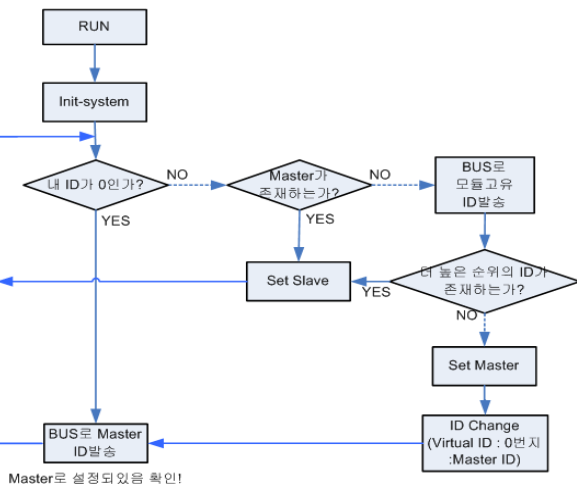


그림 5 Stand-alone type의 병렬제어 알고리즘  
Fig. 5 Parallel control algorithm in stand-alone type

그림 6은 HDC 모듈내부의 Master, Slave 설정과 통신에 관한 블록도이다. 모듈이 Master이거나 Slave임을 ID Seeker가 판단하면 스위치를 작동해 모듈의 속성을 결정해 주고 ID Seeker는 Master 모듈로 그 속성이 결정되었을 때 지속적으로 가상의 Master ID를 발송해주어 CAN이 Master 모듈의 유무를 지속적으로 알 수 있도록 한다. 단위 모듈들은 CAN에 그림 7과 같이 다수개가 연결되어 있으며 단위 모듈들은 모두 동등한 입장으로 각자 Master로써 선출될 수 있는 기회를 가지고 있다.

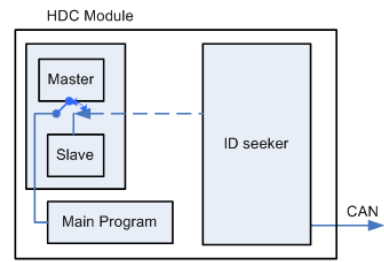


그림 6 개별적인 HDC 모듈 내부  
Fig. 6 Inside Block diagram for each HDC Module

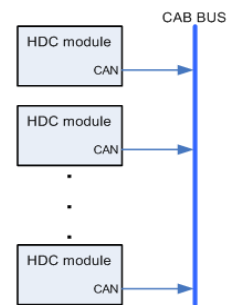
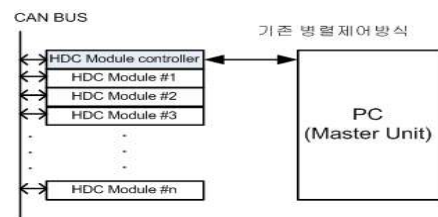
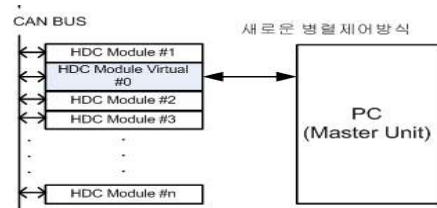


그림 7 HDC CAN BUS  
Fig. 7 HDC CAN BUS

그림 8은 메인 제어부를 가진 기존의 병렬제어 방식과 Stand-alone type의 제안된 병렬제어 방식을 나타낸다. 별도의 제어부(HDC Module controller Unit)가 존재하는 기존의 병렬제어 방식은 메인 제어부에 의해서만 전체를 총괄하고 명령을 내린다. 따라서 제어부가 고장 나면 수리가 어렵고 유동적인 상황에 대처할 수가 없다. 그러나 개별적인 모듈이 유동적으로 Master로 선출 될 수 있는 제안된 병렬제어 방식을 사용하면 별도의 제어모듈이 필요 없으므로 현재의 Master 모듈에 고장이 발생해도 새로운 모듈이 Master의 역할을 대체할 수 있다. 따라서 유지 보수가 쉽고 전체를 총괄하는 제어부가 필요 없으므로 시스템 전체의 모형을 다양하게 변형가능하다.



(a) 기존 병렬제어 방식



(b) 제안된 병렬제어 방식

그림 8 HDC 시스템의 비교  
Fig. 8 Comparison of HDC System



(a) 기존 병렬제어 방식



(b) 제안된 병렬제어 방식

그림 9 HDC 시스템의 하드웨어 사진

Fig. 9 Hardware photographs of HDC System

#### 4. 결 론

본 논문은 고전압소스를 병렬로 연결하는 방식에 있어서 별도의 메인 제어부를 가지지 않고 각각의 모듈들이 합리적으로 Master를 선출하여 제어기능을 하는 병렬제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 고전압 소스 모듈의 운전상황 변화에 유연하게 대처할 수 있다. 또한 모든 모듈이 Master로써 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있기 때문에 모듈의 증설 및 구성이 용이하다는 장점이 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Kazuaki Mino, Seiki Igarashi, and Kuroki Kazuo, "A three-phase AC-DC converter using universal input voltage type PFC circuit and phase-shift controlled DC-DC converters," In IEEE 37th Industry Applications Society Annual Meeting(IAS), Vol. 3, 2002, pp. 2117-2124.
- [2] Tae-Kwon Kim, Jin-Seok Kim, Chan-Ho Kang, Hee-Jun Kim, and Byoung-Kuk Lee, "A Development of new OS-LESS power monitoring system," in 29th Telecommunications Energy Conference(INTELEC), 2007, pp. 802-806.
- [3] 최선호, 박진영, 김은수, 강찬호, "개선된 영전압 스위칭 액티브 포워드 컨버터," 전력전자학회 추계 학술대회 논문집, 2004, pp. 59-63.
- [4] 조준석, 한재원, 최규하, "독립제어구조를 갖는 N+1 모듈형 UPS 시스템 병렬운전," 전력전자 하계 학술대회 논문집, 2002, pp. 734-738.