

EtherCAT 통신을 이용한 ISOP DAB Converter의 입력단 전압 밸런싱 제어

황준식*, 김성민*, 변병주**, 정병환**
한양대학교*, 효성중공업**

Control Scheme for Input Terminal Voltage Balancing of ISOP DAB Converter by EtherCAT Communication

Junsik Hwang*, Sungmin Kim*, Byeng Joo Byen**, B.H. Jeong**
Hanyang University*, Hyosung Power & Industrial Systems R&D Center**

ABSTRACT

입력 전압과 출력 전압의 변환비가 큰 시스템에서는 전압 변환비가 큰 한 개의 컨버터 설계하기보다는 다수의 컨버터를 직렬 혹은 병렬로 구성하여 용량을 증가시키는 것이 유리하며, 모듈형으로 컨버터를 제작하여 연결할 경우, 다양한 용량의 컨버터를 구현할 수 있다. 입력 전압이 출력 전압보다 큰 시스템에서는 ISOP(Input Series-Output Parallel) 방식을 사용한다. 시스템을 ISOP로 시스템을 구성할 경우 직렬로 연결된 모듈들의 직류단 전압 불균형 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 각 모듈의 직류단 전압을 제어한다. 본 논문에서는 EtherCAT 통신을 사용하여 ISOP 연결된 컨버터를 제어하였고 10개의 컨버터 모듈을 이용한 실험을 통해 제시하는 방법의 성능을 검증하였다.

1. 서론

대용량의 DAB(Dual Active Bridge) 컨버터를 구현하기 위하여 다수의 모듈형 DAB 컨버터를 직/병렬 연결하여 구현하는 방법이 있다. 컨버터의 모듈화는 연결되는 모듈의 수에 따라 전체 용량을 조절할 수 있어, 다양한 용량의 컨버터를 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있다.^[1] 입력 전압이 출력 전압보다 큰 시스템에서는 모듈형 컨버터의 입/출력 전압을 제어하기 위하여 ISOP(Input Series-Output Parallel) 방식을 사용한다. 이러한 경우 직렬 연결된 각 모듈들의 입력 전압 간의 불균형 문제가 발생한다.^[2] 이러한 문제를 해결하기 위해 각 모듈의 제어기 간 통신을 이용하여 각 모듈의 실시간 입력 전압/전류 값을 받아 입력 전압을 제어한다. 본 논문에서는 모듈들의 제어기 간 통신을 구현하기 위하여 EtherCAT 통신을 적용하였으며 이를 통해 ISOP 컨버터를 제어하는 방법을 제안한다.

2. MVDC/LVDC 전력 전송

2.1 DAB를 이용한 ISOP DC/DC 컨버터

DAB 컨버터는 대표적인 DC/DC 컨버터로 1차 측 Full-Bridge와 2차 측 Full-Bridge 스위치의 위상 천이를 이용하여 양방향 전력 전달이 가능하다. ISOP로 컨버터를 연결할 경우 큰 입력 전압과 작은 입력 전류, 작은 출력 전압과 큰 출

력 전류를 가지는 시스템을 구성할 수 있으나, 직렬로 컨버터를 연결할 경우 각 모듈 간에 직류단 전압 불균형이 발생한다. 직류단 전압 불균형이 발생할 경우 1개의 모듈에 가해지는 전압이 매우 클 수 있어 컨버터의 고장을 야기할 수 있다. 이를 막기 위하여 직류단 전압 균형 제어가 필요하다. 그림 2는 ISOP 연결된 DAB 컨버터의 구조도이다.

2.2 직류단 전압 균형 제어

본 논문에서 직류단 균형 제어를 위해 사용한 방법은 에너지 계산을 통한 제어이다. 1차 측 Full-Bridge와 2차 측 Full-Bridge의 에너지를 계산하여 1차 측에서 2차 측으로 전력이 전달될 경우 1차 측에서 2차 측으로 요구되는 만큼의 전력을 전송할 수 있다. 그림 1은 각 모듈의 전력 전달 및 전압 밸런싱을 위한 제어기의 구조도이다. 2차 측의 에너지 기준값과 계산된 2차 측 에너지의 차이를 PI 제어기의 입력으로 넣어 P_s 를 얻는다. 1차 측의 에너지 평균값을 계산하여 1차 측의 각 모듈에서 전달하는 에너지와의 차이를 PI 제어기의 입력으로 넣어 P_p 를 얻는다. 두 값의 차이를 이용하여 Duty Ratio로 변환하여 제어한다.

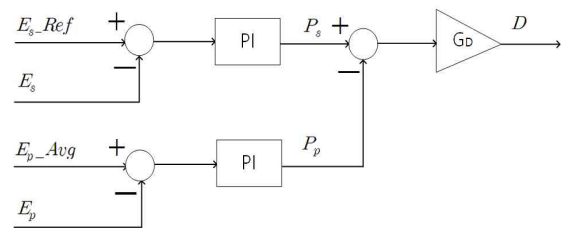


그림 1 전력 전달을 위한 제어기 구조도
Fig. 1 Diagram of Controller for Power Transmission

$$G_D = \frac{2\pi f_{sw} L_{dab} \frac{\pi}{4}}{V_{dcP}^2} \quad (1)$$

2.3 EtherCAT 통신을 통한 전력 제어 지령 전달

직류단 균형 제어를 위해 모듈 간에 입출력 전압/전류 정보를 공유하기 위하여 EtherCAT 통신을 적용하였다. EtherCAT 통신은 Ethernet을 기반으로 한 통신이며, 100Mbps의 통신속도를 가지고 있다. 또한 한 Frame에 담을 수 있는 정보의 양

이 많이 때문에 모듈형 컨버터와 같이 동시에 움직여야하는 데이터의 양이 많은 시스템에 적합하다. 각 Slave에서 EtherCAT Master로 데이터를 전달하고 Master에서는 받은 데이터를 연산 및 처리하여 Slave로 전달한다.

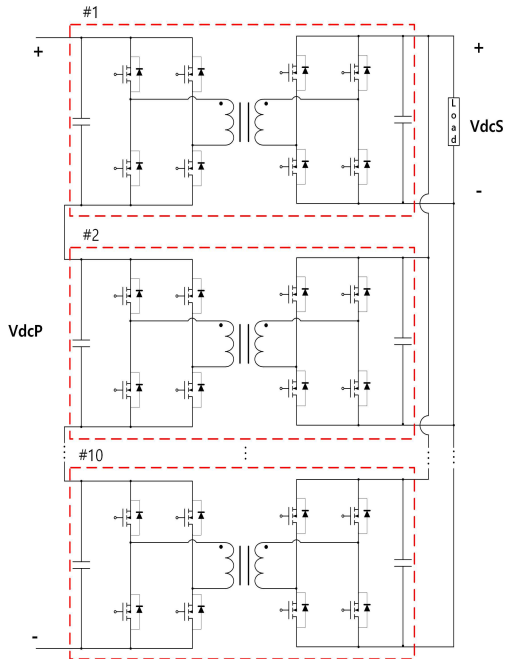


그림 2 ISOP DAB 컨버터 구조도
Fig. 2 Diagram of ISOP connected DAB Converter

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

제안된 방법의 타당성을 검증하기 위해 표1에 제시된 DAB 컨버터의 변수를 활용하여 시스템을 구성하고 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 그림 3은 실험을 통해 얻는 데이터를 Matlab을 통하여 추출한 실험 결과 파형이며, 그림 4는 시뮬레이션을 통해 확인한 ISOP 제어 결과이다..

표 1 DAB 컨버터 변수
Table 1 DAB Converter Parameters

C_{dcP}	1mF	C_{dcS}	1mF
R_{dab}	100mΩ	L_{dab}	50uH
f_{sw}	10kHz	f_{PI}	10Hz
V_{dcP}	1kV	V_{dcS}	380V

4. 결론

본 논문에서는 EtherCAT 통신을 이용한 ISOP DAB Converter의 입력단 전압 균형 제어를 제안하였다. 직렬 연결된 모듈의 경우, 직류단 전압 불균형 문제로 인하여 전압 균형 제어가 필요하며, 제어를 위하여 모듈간의 통신을 이용하였다. 모듈의 수가 많을 경우 한 프레임 당 이동하는 데이터의 양이

많아지기 때문에 100Mbps의 통신 속도를 갖는 EtherCAT 통신을 이용하여 시스템을 구성하였으며, 시뮬레이션 및 실험을 통하여 시스템의 성능을 확인하였다.

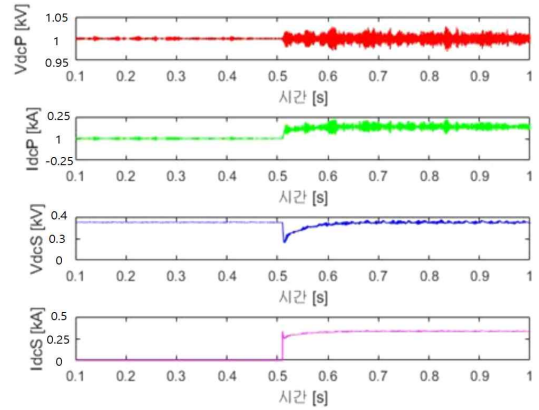


그림 3 무부하에서 풀부하 계단 응답 실험 결과
Fig. 3 Experiment Result of Step Response No Load to Full Load

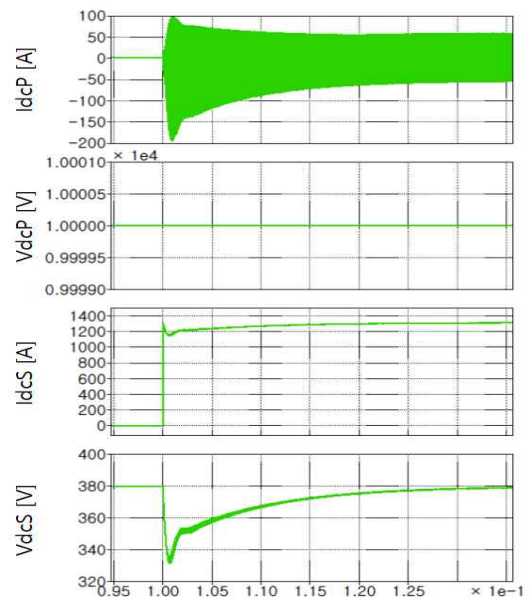


그림 4 무부하에서 풀부하 계단 응답 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation Result of Step Response No Load to Full Load

참고 문헌

[1] Tao Hu, "Input Voltage Sharing Control for Input-Series-Output-Parallel DC-DC Converters without Input Voltage Sensors", Proceedings of the Power Electronics, Vol. 15, No. 4, pp. 886-898, 2015, July.
[2] Curtis F. Gerald, "Control Scheme to Achieve Multiple Objectives and Superior Reliability for Input-Series-Output-Parallel LCL-Type Grid-Connected Inverter System", Proceedings of the IEEE. Vol. 67, No. 1, pp. 214-224, 2020, January.