

병렬 컨버터 운용을 위한 개체 기반의 전압회복 기술

최우인, 조보형

서울대학교 공과대학 전기정보공학부

Agent-Based Voltage Restoration Technique for Parallel-Connected Converters

Woojin Choi, and Bo-Hyung Cho

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

분산형 전원 시스템과 마이크로그리드에 대한 관심이 증가함에 따라 다수의 병렬 컨버터의 제어가 중요한 이슈가 되었다. 가장 보편화된 분산 전원의 제어 방법 중 하나는 드롭 방식을 이용한 분산형 제어이다. 다중 전원이 연결된 버스의 전압 품질을 향상시키기 위해 본 논문에서는 드롭 제어에 의한 전압 변동을 해결하기 위한 방법이 제안되었다. 제안된 개체 기반의 전압 회복 기술은 모듈 간 통신을 최소화하는 한편 자율적 운용 특성을 유지한다. 시뮬레이션 및 실험 결과를 통해 제안한 방법을 검증하였다.

1. 서론

분산형 전원 시스템과 마이크로그리드에 대한 관심이 증가함에 따라 다수의 병렬 컨버터의 제어가 중요한 이슈가 되었다. 분산형 전원 시스템에서는 모듈화된 정격의 컨버터들이 병렬로 연결되어 동일한 목적을 위해서 동작한다. 마이크로-그리드 시스템에서는 다양한 특성의 분산 전원이 하나의 버스에 병렬로 동작하여 제어된다. 그림 1의 이러한 시스템은 모듈화가 가능하며 확장이 용이하다는 장점이 있는 반면, 여러 컨버터는 병렬로 구동해야 한다는 제어 상의 이슈가 발생하게 된다.

제어의 신뢰성, 부하 분담, 전압 규제 등이 병렬 컨버터의 제어를 평가하는 중요한 기준이다. 중앙집중형 제어 방식은 구조가 간단하며 부하 분담과 전압 규제가 쉽다는 장점이 있지만, 단일지점고장 (single-point-of-failure) 문제가 잠재적으로 존재하며 모듈 간 지속적인 통신이 요구된다. 이를 해결하기 위해 드롭 방식을 이용한 분산형 제어는 가장 보편화된 병렬 전원의 제어 방법 중 하나이다.^[1]

그림 2는 두 개의 병렬 컨버터의 드롭 동작 곡선 및 동작점의 형성을 나타내고 있다. 두 개의 모듈을 각각 모듈1과 모듈2라고 할 때, 그림에서 V_0 는 표준 전압, V_1 과 V_2 , I_1 과 I_2 , m_1 과 m_2 는 각각 모듈1과 모듈2의 출력전압, 출력전류, 드롭 기울기를 나타낸다. 두 모듈은 개별 드롭 기울기를 가지고 V-I 곡선을 형성하며 이 곡선에 따라 동작점이 결정된다. 부하 전류를 I_{load} 라고 할 때, 두 모듈의 전류의 합이 부하전류와 같은, $I_1 + I_2 = I_{load}$ 가 되는 곳에서 동작점이 형성된다. 드롭 기울기는 항상 음수가 되기 때문에 그림과 같이 부하가 증가함에 따라 표준전압과의 차이인 전압변동 Δv 가 증가하게 된다.

드롭 제어에서 발생하는 이러한 전압변동 문제를 해결하기 위해서 다양한 전압회복 방법이 제안되었다.^[2] [2]에서 드롭

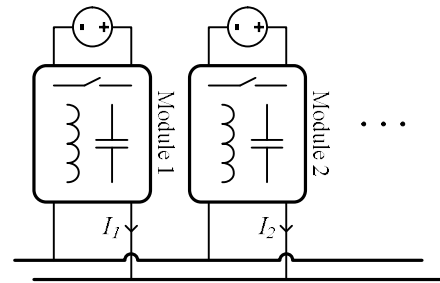


그림 1 분산형 전원 시스템

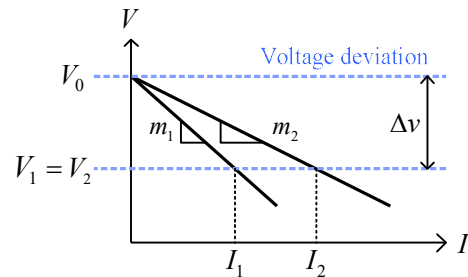


그림 2 두 모듈의 드롭 곡선 및 동작점

방식에 적용되는 제어 루프를 기본으로 하되 추가적으로 이차 제어를 적용한 방법을 제안했다. 이차 제어기는 중앙형 또는 분산형으로 구현되며 부하에 따른 전압변동의 크기를 표준 전압과 비교하여 그 크기만큼 보상한다. 그러나 이 방법은 모듈 간의 많은 양의 통신이 필요하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 모듈 간의 통신을 최소화하는 한편 자율적 운용 특성을 유지하는 개체기반(agent-based)의 전압회복 기술을 제안한다. 일치 (consensus) 알고리즘을 기반으로 한 제안된 방법은 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

2. 개체기반 전압회복 기술

2.1 드롭 제어

그림 3 (a)는 단일 모듈의 일반적인 전압 제어를 나타낸 회로도이다. i 번째 모듈을 가정하며, V_i , I_i 는 i 번째 모듈의 출력 전압 및 출력전류를 의미하며, D_i 는 제어기에서 전력모듈로 전달되는 제어 변수를 의미한다. 이 때 V_i^* 는 전압 지령으로, 일반적인 전압 제어에서는 전압 지령이 표준전압과 동일하다.

$$V_i^* = V_0 \quad (1)$$

그림 3 (b)는 드롭 제어가 적용되었을 때의 전압 지령을

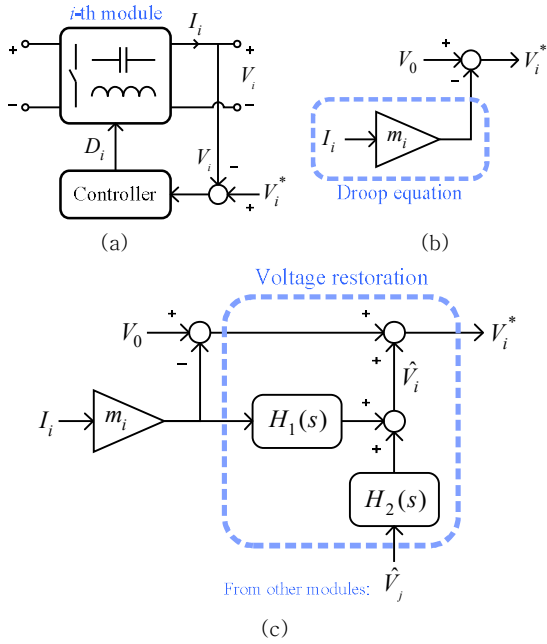


그림 2 두 모듈의 드롭 곡선 및 동작점

나타낸다. 드롭 기울기 m_i 와 출력전류의 곱과 표준전압과의 차이가 전압 제어기의 전압 지령으로 전달되며, 아래 식과 같다.

$$V_i^* = V_0 - m_i I_i \quad (2)$$

앞에서 설명한 것처럼 드롭 제어를 적용하면 출력전류의 크기가 증가함에 따라 전압지령이 감소하며 이는 컨버터 출력전압의 감소, 즉 전압변동의 증가로 이어진다.

2.2 제안된 전압회복 기술

그림 3 (c)는 본 논문에서 제안하는 전압회복 기술을 적용한 제어기의 회로도를 보여준다. 전압회복 항인 \hat{V}_i 는 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{V}_i = m_i I_i \cdot H_1(s) + \hat{V}_j \cdot H_2(s) \quad (3)$$

위 식에서 \hat{V}_j 은 이웃한 j 번째 모듈의 전압회복 항이다. j 번째 모듈의 정보는 일치 알고리즘의 구조에 따라 i 번째 모듈의 제어기에 적용된다. $H_1(s)$ 와 $H_2(s)$ 는 다음과 같이 설계한다.

$$H_1(s) = \frac{K-1}{K} \frac{1}{(s/\omega_1 + 1)} \quad (4)$$

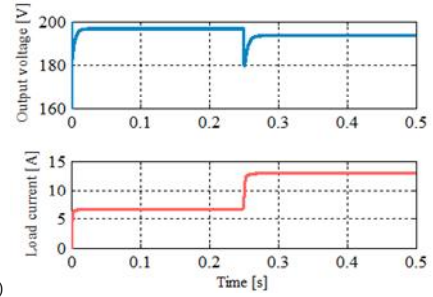
$$H_2(s) = 1/(s+K) \quad (5)$$

2.3 시뮬레이션 결과

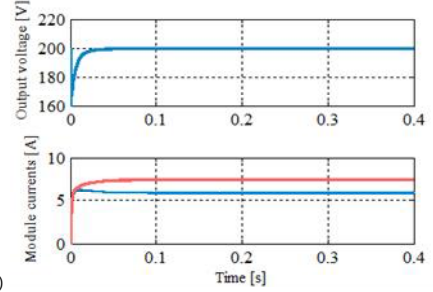
제안한 방법은 일반성을 유지한 채 두 개의 병렬 컨버터가 연결된 시스템의 시뮬레이션을 통해서 검증되었다. 그림 4 (a)는 일반적인 드롭 제어의 경우에 발생하는 전압 강하를 보여주고 있다. 부하가 증가함에 따라 출력전압이 표준전압인 200 V에서 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4 (b)는 일치 알고리즘이 적용되지 않은 채 전압회복이 독립적으로 적용된 파형을 나타내고 있다. 전압은 회복되지만 두 모듈 간의 제어기의 불균형 파라미터에 의해 전류 분배가 균일하게 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있다.

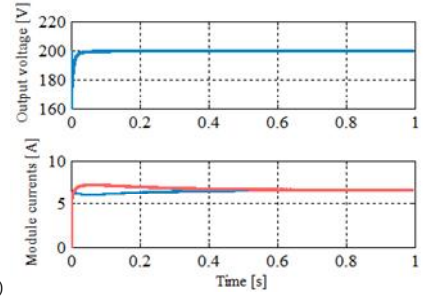
그림 4 (c)는 제안한 전압회복 기술이 적용되었을 때 전류 분배를 나타내고 있다. 불균형 파라미터에 의해 초기에는 전류



(a)



(b)



(c)

그림 3 시뮬레이션 결과 (a) 드롭제어 (b) 불균형 전압회복 (c) 제안한 전압회복

분배가 차이가 나지만 제안한 일치 알고리즘에 의해서 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)과 산업평가관리원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2011T100100025)

3. 결론

본 논문에서는 일치 알고리즘을 적용한 개체 기반의 전압회복 기술을 제안했다. 제안한 방법을 이용하여 드롭 제어에서 발생하는 전압 변동 문제를 해결하였으며, 동시에 모듈 간 통신이 최소화되고 자율적인 운용 특성이 유지된다. 제안한 방법은 두 개의 병렬 컨버터로 이루어진 시스템의 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

참고 문헌

- [1] Jung-Won Kim, Hang-Seok Choi, and Bo Hyung Cho, "A novel droop method for converter parallel operation," IEEE Trans. Power Electron., vol.17, no.1, pp.25,32, Jan., 2002.
- [2] Shafiee, Q., Guerrero, J.M., and Vasquez, J.C., "Distributed Secondary Control for Islanded Microgrids—A Novel Approach," IEEE Trans. Power Electron., vol.29, no.2, pp.1018,1031, Feb., 2014.
- [3] Olfati-Saber, R., Fax, J.A., and Murray, R.M., "Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems," Proc. of the IEEE, vol.95, no.1, pp.215,233, Jan., 2007.