

백 컨버터의 병렬운전을 위한 전류/전압 기반 드롭제어기의 비교

조원태, 조영훈
 건국대학교 전력전자연구소

Comparison of V-I/I-V droop control method in parallel buck converters

Wontae Cho, Younghoon Cho
 Power Electronics Lab, Konkuk Univ.

ABSTRACT

Droop control method is the conventional controller to solve the problem of current sharing error and voltage deviation that can occur in parallel connection of DC-DC converter. This paper compared V-I droop control with I-V droop control, which based on communication and confirmed the results through experiments.

1. 서 론

드롭제어는 직류 마이크로그리드에서 부하 전류 분담을 위한 기본적인 제어방법이다.^[1] 드롭제어에는 다양한 방법이 있는데, 본 논문에서는 V-I 와 I-V 드롭 제어 방법을 다룬다. 여기서 V-I 드롭은 출력 전류로 출력 전압을 제어하고, I-V 드롭은 출력 전압으로 출력 전류를 조절한다. 그러나 이러한 기존의 드롭제어는 라인 임피던스에 의한 출력전압 불균형으로 전류분담의 정확도가 떨어지고, 드롭제어로 인한 전압강하가 발생하게 된다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 LBC(Low-Bandwidth-Communication) 기반의 개선된 드롭제어가 제시되었다.^[2] 이때 LBC 시스템은 전압지령을 변경하는 데만 사용된다. 본 논문에서는 컨버터 간의 정보교환을 적용한 V-I / I-V 드롭제어기의 구조 및 성능을 비교하고, 이를 실험을 통해 확인하였다.

2. 시스템 구성

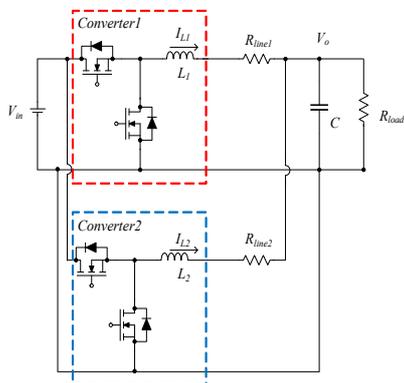


그림 1 병렬 백 컨버터
 Fig. 1 Synchronous buck converter in parallel

그림 1은 본 논문에서 다루는 병렬 백 컨버터 시스템을 보여준다. 이 시스템은 입력전압(V_{in})과 백 컨버터 2대, 라인 임피던스(R_{line1} , R_{line2})로 구성된다. 인덕터 전류(I_{L1} , I_{L2}), 부하 전압(V_o)으로 나타낼 수 있다.

2.1 V-I 드롭 제어기 구조

통상의 드롭 제어의 경우 출력 전압 지령이 출력 전류에 의해 얻어진다. 이렇게 출력 전류를 기반으로 출력 전압을 제어하기 때문에 V-I 드롭 제어라고 불린다. 이때 전압 제어기의 지령치는 아래 식과 같이 계산된다.

$$V_o^* = V_{ref} - I_o \cdot R_D \tag{1}$$

여기서 V_{ref} 는 공칭전압(무부하 시 출력 전압), I_o 는 컨버터 출력전류이며 R_D 는 가상 출력 임피던스(드롭 계수)이다.

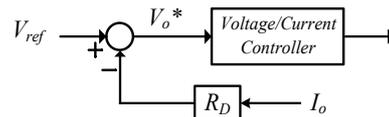


그림 2 V-I 드롭 제어 구조
 Fig. 2 V-I droop control method scheme

2.2 I-V 드롭 제어기 구조

드롭 제어의 또 다른 방법은 출력전압을 기반으로 출력 전류를 드롭 특성에 따라 제어하는 것이다. 이를 I-V 드롭제어라고 부르며 이때의 출력 전류의 지령은 아래 식과 같이 계산된다.

$$I_o^* = (V_{ref} - V_o) \cdot k_d \tag{2}$$

이 때 (2)를 정리하면

$$\frac{I_o^*}{k_d} = (V_{ref} - V_o) \rightarrow V_o = V_{ref} - \frac{I_o^*}{k_d} \tag{3}$$

다음과 같이 나오게 되고 (1)과 비교하여

$$k_d = \frac{1}{R_D} \tag{4}$$

의 관계를 얻을 수 있다.

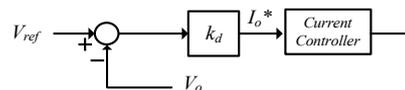


그림 3 I-V 드롭 제어 구조
 Fig. 3 I-V droop control method scheme

2.3 2차 제어기^[2]

드롭 제어기를 실제 시스템에 적용할 때 가상 출력 임피던스가 커지면 부하 분담 성능이 좋아지지만 동시에 전압지령의 크기가 작아지게 된다. 이를 해결하기 위해 전압, 전류 보상항(V_{comp}, I_{comp})을 전압지령(V_{ref})에 더하게 된다. 부하 전압을 높이기 위한 전압 보상항(V_{comp})은 다음과 같다.

$$V_{comp} = (V_{ref} - \bar{V}) \cdot G_{piv} \quad (5)$$

여기서 \bar{V} 는 각 컨버터 출력전압의 평균이다.

라인 임피던스로 인한 전류 공유(current sharing)오차를 보상하기 위한 전류보상항(I_{comp})은 다음과 같다.

$$I_{comp} = (I_{L1} - \bar{I}) \cdot G_{pic} \quad (6)$$

여기서 \bar{I} 는 각 컨버터 출력전류의 평균이다. 따라서, 새로운 전압 지령(V_{ref}')의 크기는 다음 식과 같다.

$$V_{ref}' = V_{ref} + (V_{ref} - \bar{V}) \cdot G_{piv} - (I_{L1} - \bar{I}) \cdot G_{pic} \quad (7)$$

이때 컨버터 간의 출력 전압 및 전류 공유를 위해 느린 통신이 필요하게 된다.

3. 실험 결과

실험은 Infineon사의 FF50R12RT4 IGBT 모듈을 사용하여 단상 동기 벽 컨버터 두 대를 구성하여 실험하였으며, 시스템의 파라미터는 표1과 같다. 여기서 R_{line1} 은 벽 컨버터 1의 인덕터와 부하 사이의 라인 임피던스 구현을 위해 실제로 삽입한 저항의 측정값이며, R_{line2} 은 벽 컨버터 2의 인덕터와 부하 사이에 있는 도선의 저항값을 측정한 것이다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System Parameters

V_m	200 [V]	Communication delay	100 [ms]
L_1	1.95 [mH]	L_2	1.94 [mH]
R_{line1}	1.77 [Ω]	R_{line2}	0.07 [Ω]
C	1 [mF]	R_{load}	15 [Ω]
R_D	3 [Ω]	P	666.6 [W]

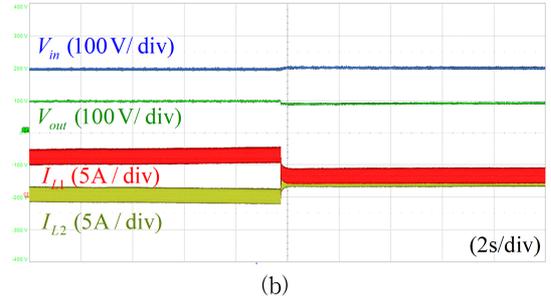
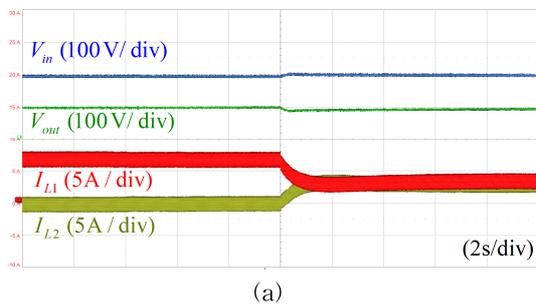


그림 4 실험결과 파형

Fig. 4 Experimental results of (a) V-I droop (b) I-V droop

그림4(a)는 벽 컨버터 1과 2 모두 V-I 드롭제어를 적용한 실험 결과를 나타내고, 그림4(b)는 두 컨버터의 제어가 I-V 드롭제어기인 경우의 결과 파형을 나타낸다. 그림4의 파형들을 보았을 때 전압 저하가 작고 부하 분담에 문제가 없음을 알 수 있다. 또한 각 결과 파형을 비교하여 I-V Droop 제어가 전압 변동이 작고 전류 평형의 속도가 800msec 빠른 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 DC-DC컨버터의 병렬운전 시 적용 가능한 여러 드롭 제어 방법 중 통신 기반의 V-I / I-V 드롭 제어의 구조 및 성능을 비교하였다. 이때 출력전압 및 출력전류 불평형을 DC 드롭(V-I, I-V)으로 제어하였고, 통신 기반의 2차 제어를 통해 부하 전압 및 전류분담 오차를 보상하였다. 이때 I-V 드롭 제어기가 작은 전압 변동과 빠른 응답속도가 보임을 실험을 통해 확인하였다.

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다.(No.20174030201660)

참고 문헌

- [1] Y. Ito, Y. Zhongqing and H. Akagi, "DC microgrid based distribution power generation system," The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPENC 2004., Xi'an, 2004, pp. 1740-1745 Vol.3.
- [2] X. Lu, J. M. Guerrero, K. Sun and J. C. Vasquez, "An Improved Droop Control Method for DC Microgrids Based on Low Bandwidth Communication With DC Bus Voltage Restoration and Enhanced Current Sharing Accuracy," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 4, pp. 1800-1812, April 2014.