

ESS용 PCS 모듈의 병렬운전 제어

배기훈*, 김준모*, 이정*, 엄태호*, 원충연*
 성균관대학교*

Parallel Operation Control Method of PCS Module for ESS

Ki-Hoon Bae*, Jun-Mo Kim*, Jeong Lee*, Tae-Ho Eom*, Chung-Yuen Won*
 Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문에서는 부하 분담, 신뢰성 및 효율 향상, 시스템 용량을 증가시키는 PCS 모듈 병렬 운전 방법을 제안한다. 병렬 운전을 할 때 모듈별 출력 전압, 전류 값들이 이상적으로 동일하지 않기 때문에 시스템 손실을 초래하는 순환전류가 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 순환전류를 저감시키기 위해 모듈별 전력제어와 가상의 계수인 droop index를 이용하여 Load sharing이 잘 되는 제어 알고리즘을 이용하여 병렬 운전 방법의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

최근 전력 공급의 안정화 및 신재생 에너지원의 발전에 따른 대용량 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)가 많이 연구되고 있다. ESS의 효율은 전력변환장치의 구성에 따라 향상 될 수 있다. 기존의 PCS는 저 부하 영역에서 낮은 효율 특성을 가지고 (높은 정격의 전력 반도체 소자를 사용하는) 단일 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 문제를 해결 할 방안으로 시스템 용량을 분할(load sharing)하는 모듈 구조의 병렬 운전 방법을 연구 한다. 그러나 둘 이상의 PCS의 전압을 제어 할 때 센서 측정 오차, 제어기의 이득오차, 라인 임피던스 성분 및 전력 반도체 소자의 특성 차이로 인한 전압차가 있을 수 있다^[1]. 그러므로 시스템에 순환전류가 반드시 발생하게 된다. 따라서 본 논문은 순환전류를 저감시키는 PCS 모듈의 병렬 운전 제어 방법을 제안한다.

2. ESS용 PCS 모듈의 병렬운전 시스템

2.1 PCS 모듈의 병렬 회로 구성

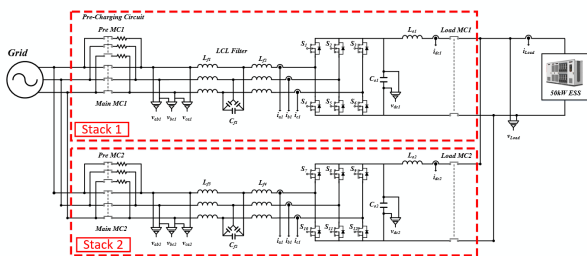


그림 1 PCS 모듈의 병렬 구조 회로
 Fig. 1 Parallel configuration of PCS module

25kW 용량을 갖는 PCS 모듈 2개를 병렬로 연결한 회로 구성은 그림 1과 같다. 각 모듈은 계통 전력을 750Vdc의 직류 전력으로 변환하는 AC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 각 모듈은 완전히 방전된 커패시터에 전력을 공급 할 때 돌입전류를 막기 위한 pre-charging 회로가 사용된다. 계통 연계시 AC/DC converter는 일반적으로 수 [kHz] 범위의 스위칭 주파수를 사용하는데 이 범위의 스위칭 주파수는 입력 전류의 고조파성분을 증가시키므로 이를 방지하기 위해 LCL 필터를 사용하였다. 또한 두 전압원인 DC 링크와 ESS사이 에 돌입 전류를 방지하기 위한 Protection inductor를 구성하였다.

2.2 병렬 PCS 모듈 회로 분석

그림 1의 회로의 전체 회로는 그림 2와같이 등가회로로 표현할 수 있다.

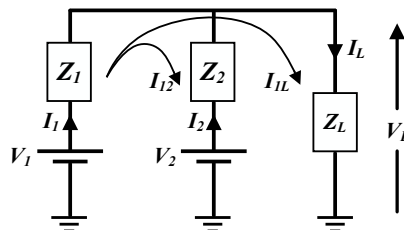


그림 2 병렬 PCS 모듈의 등가회로
 Fig. 2 Equivalent circuit for Parallel of PCS module

그림 2에서 키르히호프 전압 법칙을 적용하면 출력 전압과 전류의 식을 수식 1로 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_L & Z_L \\ Z_L & Z_2 + Z_L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

수식1을 통해 수식2를 도출해 낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_L & Z_L \\ Z_L & Z_2 + Z_L \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

회로에 흐르는 순환전류는 수식 3으로 표현할 수 있는데 이 때 경우를 2가지로 나눌 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{12} = -I_{21} &= \frac{V_1 - V_2}{Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{I_1 - I_2}{2} \quad (\text{if } Z_1 = Z_2) \\ &= \frac{I_1 Z_1 - I_2 Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (\text{if } Z_1 \neq Z_2) \end{aligned} \quad (3)$$

위의 수식들을 살펴 볼 때 각 모듈의 출력 전류는 출력 전압을 제어함으로써 순환전류를 저감시킬 뿐만 아니라 전력을 동일하게 제어하여 부하분담을 동일하게 할 수 있다. 표 1은 각 모듈의 전압, 전류, 임피던스를 고려하여 회로에서 있을 수 있는 4가지의 경우를 나타내고 있다. 표 1에서 나타낸 모든 경우에서 각 모듈별 출력 전류, 전압 값을 동일하게 해주어야 하며 부하 분담을 해야 한다.

경우	V_1, V_2	I_1, I_2	Z_1, Z_2	P_1, P_2
1	같음	같음	같음	같음
2	같음	다름	다름	다름
3	다름	같음	다름	다름
4	다름	다름	다름	다름

표 1 병렬 회로에서 있을 수 있는 4가지 경우
Table 1 Four possible cases in parallel circuit

3. 제안하는 PCS 모듈 병렬 운전 시스템

수식 1, 2의 전압, 전류, 임피던스의 관계를 수식 4의 각 요소들의 비례 및 치환을 이용해서 가상의 계수(드롭 계수, α)를 도출해 낼 수 있다. 앞서 구한 드롭 계수를 각 모듈의 임피던스 성분에 더해 주어 이용한다. 두 모듈의 출력 전압, 전류 값을 비교하여 상황에 맞게 가상계수의 변화를 주어 제어기의 reference value를 만들어 줄 수 있다.

$$m = V_1/V_2, \quad n = Z_1/Z_2, \quad u = Z_1 + \alpha_2 \quad (4)$$

3.1 병렬운전 알고리즘

그림 3은 제안하는 병렬운전을 알고리즘은 나타낸 순서도이다. 먼저 부하의 전력을 계산하여 각 모듈에 동일하게 분담한다. 모듈의 전력이 같을 때와 다를 때의 경우를 고려하며, 또한 전압 및 전류 값에 따라 드롭 계수의 값을 변화시켜 최종적인 전압 레퍼런스 값을 만들어 준다.

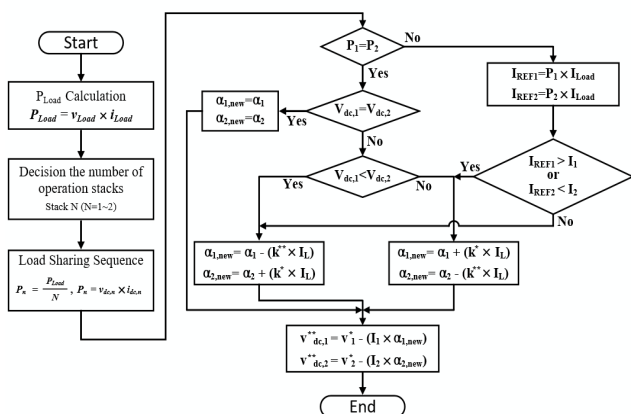


그림 3 병렬 운전 제어의 순서도
Fig. 3 Flow chart of parallel operation control

예를 들어 전체 전력을 1이라고 각 모듈이 동일한 전력을 분담할 때 각 모듈별 전력은 0.5가 된다. 모듈1의 전력이 0.7, 모듈2의 전력이 0.3일 경우에는 모듈1이 더 많은 전력을 분담하고 있으므로 드롭 계수를 조절하여 0.2의 전력을 감소시키는 전력을 0.5가 되도록 전압 레퍼런스 값을 변경한다. 모듈 2의 경우는 반대인 경우이므로 전력을 증가시키도록 전압 레퍼런스

값을 변경한다.

4. 시뮬레이션

Parameters	Values
P_{Load}	50 kW
V_{in}	380 V
V_{out}	750 V
I_{Load}	≤ 67 A
f_{sw}	20 kHz

표 2 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Simulation parameters

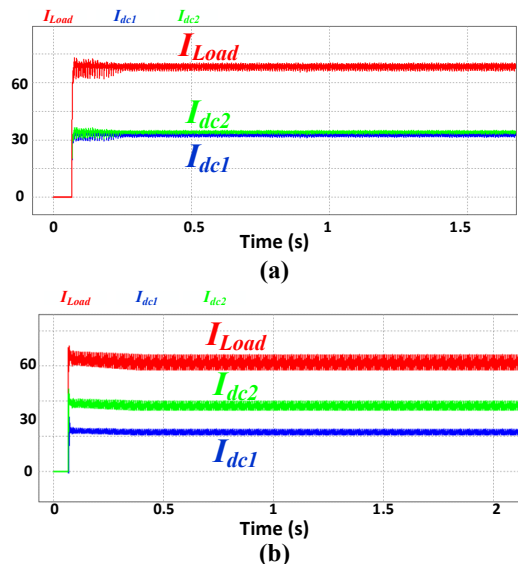


그림 3 PCS 모듈 병렬운전 시뮬레이션 파형
(a) 모듈1: 50% 모듈2: 50% (b) 모듈1: 34%, 모듈2: 66%
Fig. 3 Simulation waveform of parallel PCS module

그림 3은 PCS 모듈의 병렬운전의 출력 전류파형을 나타낸다. (a) 파형은 모듈1, 모듈2가 동일하게 부하분담을 50%씩 하는 것을 알 수 있다. (b) 파형은 모듈1이 34%, 모듈2가 64%의 부하분담을 하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 PCS 모듈 병렬운전 시 발생하는 순환전류 감소와 부하분담을 수행하도록 하는 제어방법을 제안했다. 2개의 모듈을 병렬로 구성하여 각 모듈별 출력 전압, 전류의 관계를 수식적으로 표현하여 알고리즘을 구현하였다. 제안하는 제어방법은 시뮬레이션으로 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] Hong, Seok-Jin, et al. "Power control method for multi-parallel DC distribution system through the equivalent circuit model." Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014-ECCE-ASIA), 2104 International. IEEE, 2014

[2] Kim, Jung-Won, Hang-Seok choi, and Bo hyung Cho. "A novel droop method for converter parallel operation." IEEE Transactions on Power Electronics 17.1, 2002:25-32