

개선된 드롭제어 방식을 이용한 3상 4레그 PCS의 병렬운전

김기룡, 오창열, 권민호, 김태진, 이종필
한국전기연구원

Parallel Operation Control of 3-phase 4-leg PCS Using Modified Droop Control Method

Ki Ryong Kim, Chang-Yeol Oh, Min-Ho Kwon, Tae-Jin Kim, Jong-Pil Lee
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

ABSTRACT

태양광 및 풍력과 같은 신 재생에너지원을 바탕으로 하는 분산 발전이 증가함에 따라 대용량의 PCS가 요구된다. 대용량의 PCS를 제어하기 위해서는 병렬운전이 바탕이 되어야 한다. 본 논문에서는 통신 없이 제어가 가능한 기존의 드롭 제어의 장점을 살리면서 전력 편차가 적은 마스터 슬레이브 제어의 장점을 결합한 병렬운전 제어 방식을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제어 알고리즘의 타당성을 검증하고자 한다.

1. 서론

지난 수세기 동안 전기를 생산하는 자원으로 사용된 화석연료는 그 매장량의 한계가 들어나고 있다. 뿐만 아니라 화석연료의 사용으로 인한 지구 온난화, 대기 환경오염과 같은 문제점에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 따라서 화석 연료사용을 줄이고 이를 대신할 수 있는 태양광과 풍력과 같은 재생 가능한 에너지자원을 이용한 분산 발전이 관심 받게 되었다^[1,2]. 분산발전의 증가로 인해 대용량의 power conditioning system (PCS)가 필요하게 되었고, 이를 위해서는 병렬운전이 바탕이 되어야 한다. 병렬운전 제어하기 위한 대표적인 방법으로는 PCS간 통신을 바탕으로 하는 마스터-슬레이브 방식이 있으며, 비 통신 방식의 주파수와 전압을 조절하여 유효 및 무효 전력을 제어하는 드롭제어 방식이 있다^[3,4]. 본 논문에서는 통신 없이 제어가 가능한 기존의 드롭 제어의 장점을 살리면서 전력 편차가 적은 마스터 슬레이브 제어의 장점을 결합한 병렬운전 제어 방식을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 데이터 체인형태로 병렬 구성된 PCS가 각각의 유효 및 무효전력 값을 연결된 PCS로 전달하여 전력 오차를 줄이도록 하였으며, 정상상태에 도달하는 시간을 줄이도록 하였다. 또한, 통신에 문제가 발생하더라도 기존의 드롭제어는 지속적으로 수행되기 때문에 병렬운전이 가능하다. 즉, 각각의 PCS는 통신 상태에 따라 마스터 및 슬레이브 역할을 수행할 수 있게 된다. 제안하는 병렬운전 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 토폴로지 및 제어 알고리즘

N개 병렬형 3상 4레그 PCS의 구성은 그림 1에서 확인할 수 있다. 3상에 연결되는 필터 인덕터와 필터 커패시터와 중성선에 연결되는 인덕터로 구성된다. PCS는 부하와 연결된 공통접속점(PCC)에 연결됨으로써 그 개수를 확장시킬 수 있다.

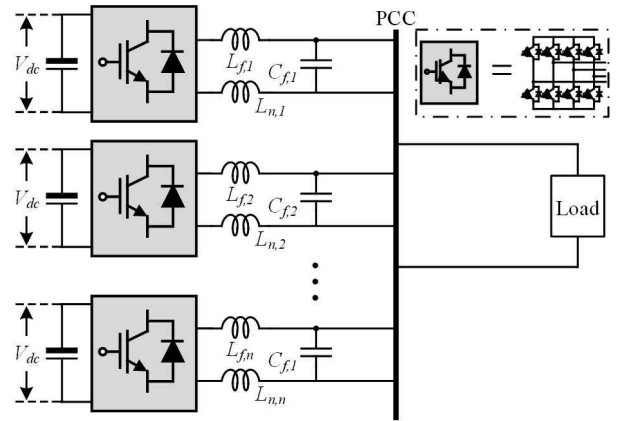


그림 1 3상 4레그 PCS n개 병렬 구성 블록도
Fig. 1 Block diagram of n-th parallel 4-leg PCS.

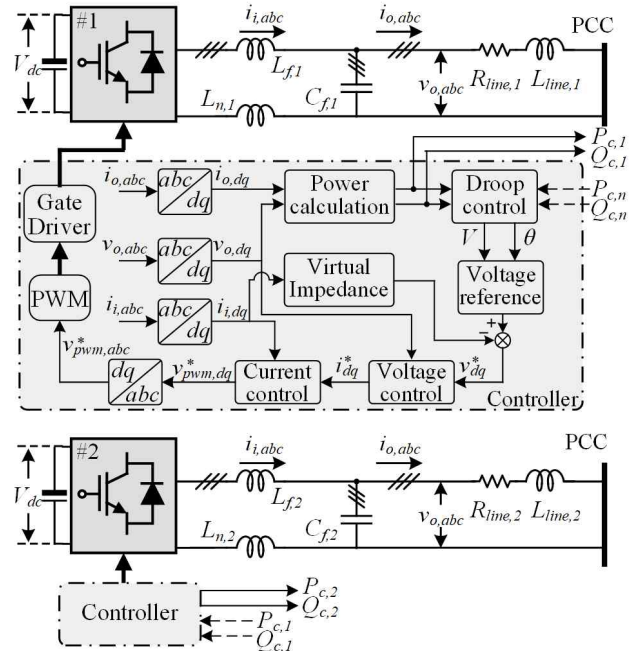


그림 2 제안하는 제어 알고리즘 블록도
Fig. 2 Block diagram of proposed control algorithm.

그림 2은 제안하는 제어 알고리즘을 보여준다. 각각의 PCS에서 유·무효 전력을 계산하여 순차적으로 연결된 PCS에 그 값을 전달하고, 드롭제어에 사용한다. 제안하는 드롭제어 식은 (1)과 같이 표현된다

$$\begin{aligned}\omega &= \omega^* - m(P^* - P_{err} - P_c) \\ v &= v^* - n(Q^* - Q_{err} - Q_c)\end{aligned}\quad (1)$$

m, n은 드롭제어의 주파수 및 전압 계수를 각각 나타내며, ω^*, v^* 은 무부하 상태에서의 주파수와 전압을 나타내며, P^*, Q^* 는 PCS의 정격 유·무효 전력을 나타내며, P_c, Q_c 는 PCS가 계산한 유·무효전력을 나타낸다. P_{err} 과 Q_{err} 은 각각 $P_{c,m} - P_{c,m-1}$ 과 $Q_{c,m} - Q_{c,m-1}$ 의 차이를 나타낸다. 이때, $m=1,2,\dots,n$ 이며, $m-1 < 0$ 일 경우 $m=n$ 이 된다.

3. 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 제원.
Table 1 Simulation parameters.

제원	표기	값
스위칭 주파수	f_{sw}	7.2kHz
DC 전압	V_{dc}	750V
부하 정격	P_{load}	5kW
주파수 드롭 계수	m	0.000128
전압 드롭 계수	n	0.00128
PCS#1 정격전력	$P_{rate,1}$	5kW
PCS#1 필터 인덕턴스	$L_{f,1}$	1.8mH
PCS#1 필터 커패시턴스	$C_{f,1}$	90 μ F
PCS#1 중성선 인덕턴스	$L_{n,1}$	1.8mH
PCS#1 선로 저항	$R_{line,1}$	0.11 Ω
PCS#1 선로 임피던스	$L_{line,1}$	385 μ H
PCS#2 정격전력	$P_{rate,2}$	5kW
PCS#2 필터 인덕턴스	$L_{f,2}$	2.2mH
PCS#2 필터 커패시턴스	$C_{f,2}$	110 μ F
PCS#2 중성선 인덕턴스	$L_{n,2}$	1.8mH
PCS#2 선로 저항	$R_{line,2}$	0.09 Ω
PCS#2 선로 임피던스	$L_{line,2}$	315 μ H

표1은 PCS의 제어 제원들이 적혀있다. 이 제원들을 바탕으로 시뮬레이션을 진행되었다. PCS1과 PCS2의 필터 값과 선로 임피던스 값을 모두 다르게 적용한 상태에서 제안하는 알고리즘에 대해 검증하였다. 부하 정격이 5kW에서 시뮬레이션이 진행되었다. 과도상태의 경우 제안하는 알고리즘이 적용되기 전인 그림3(a)가 정상상태에 도달하기까지 약 0.28초가 소요되었으며, 알고리즘이 적용된 후의 파형인 그림 3(b)에서는 0.16초로 약 57.14%가량 시간이 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

병렬 운전 시 데이터 체인 방식을 이용한 드롭제어 알고리즘을 통해 정상상태에 도달하는 시간을 줄일 수 있었다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로, N개로 확장했을 경우에도 과도 상태를 줄이며, 안정적으로 제어가 가능할 것으로 사료된다.

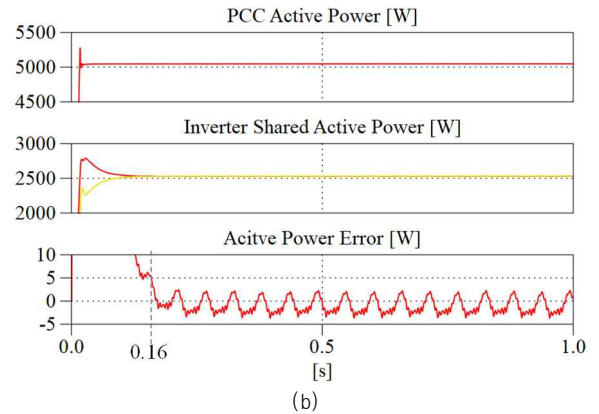
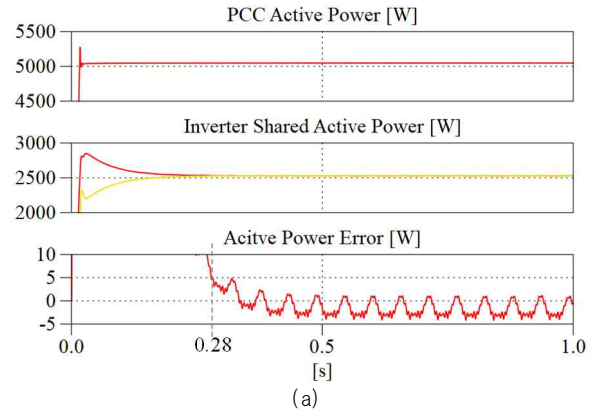


그림 3 제안하는 제어 알고리즘 적용 (a)전, (b)후 시뮬레이션 결과파형

Fig. 3 Simulation result waveform (a)before, (b)after applying the proposed control algorithm.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171210201100)

참고 문헌

- [1] Olivares, D. E., Mehrizi-Sani, A., Etemadi, A. H., Canizares, C. A., Iravani, R., Kazerani, M., Hatziargyriou, N. D. (2014). Trends in Microgrid Control. *IEEE Trans. Smart Grid*, 5(4), 1905-1919.
- [2] Guerrero, J. M., Loh, P. C., Lee, T.-L., & Chandorkar, M. (2013). Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids-Part II: Power Quality, Energy Storage, and AC/DC Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(4), 1263-1270.
- [3] J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, A. Luna, P. Rodriguez, and R. Teodorescu, "Adaptive droop control applied to voltage-source inverters operating in grid-connected and islanded modes," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10, pp. 4088 - 4096, Oct. 2009.
- [4] Y. Shi, W. Wu, H. Wang, Y. Du, and J. Su, "The parallel multi-inverter system based on the voltage-type droop control method," vol. 4, no. 4, pp. 1332 - 1341, Dec. 2016.