

25 kW급 계통연계형 태양광 인버터 병렬운전에 따른 순환전류 저감을 위한 제어기법

이재호, 양형규, 박상민, 노용수, 최준혁[†]

한국전자기술연구원 전력제어시스템연구센터

Control Method for Reducing Circulating Current in Parallel Operation of 25 kW Grid-tied PV Inverters

Jae-Ho Lee, Hyoung-Kyu Yang, Sang Min Park, Yong-Su Noh, Jun-Hyuk Choi[†]

Korea Electronics Technology Institute Power System Research Center

ABSTRACT

계통연계형 태양광 인버터를 병렬운전하는 과정에서, 각 인버터의 Pulse-Width Modulation (PWM) 캐리어 위상이 불일치 시 고주파 영역의 순환전류가 발생한다. 이러한 순환전류는 스위치의 도통손실을 증가시켜 인버터의 효율을 낮춤으로 저감시킬 필요성이 있다. 본 논문에서는 4-병렬된 25 kW급 태양광 인버터를 PSIM으로 구현 및 시뮬레이션하여 제안하는 제어방식의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

최근 신재생 에너지를 이용한 발전방식 중 하나인 태양광 발전에 관한 중요성 및 태양광 발전을 계통에 연계하기 위한 인버터의 필요성이 부각되고 있다. 일반적으로 하나의 인버터가 고장 시 다른 인버터를 통해 전력을 전달하여 시스템의 신뢰성을 높이고, 시스템의 용량이 증대될 시 인버터를 추가로 병렬접속해 시스템의 확장성을 높이기 위해 다수의 계통연계형 태양광 인버터를 병렬로 접속해 운전하는 방식이 채용된다. 그러나 태양광 인버터를 병렬운전하는 과정에서 각 인버터의 Pulse-Width Modulation (PWM) 캐리어의 위상이 일치하지 않는 경우 고주파 영역의 순환전류가 발생하게 되는 문제점이 있다. 이러한 순환전류는 교류의 무효전력과 비슷하여 스위치의 도통손실을 증가시켜 전반적인 시스템의 효율을 감소시키고, 연계되는 기기의 고장이나 스위치의 파괴와 같은 여러 부정적인 영향을 미치기 때문에 억제해야 할 필요성이 있다.^[1] 고주파 영역의 순환전류를 저감하는 방법으로 시스템의 입력 부에 3상 결합인덕터를 구성하는 방법^[2] 등의 하드웨어적인 방법이 있으나 이러한 해결 방안은 하드웨어를 추가적으로 구성해야 하므로 전체적인 시스템의 무게 및 부피가 증가하여 전력밀도를 감소시키게 되는 단점이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 3-레벨 Neutral Point Clamped (NPC) 인버터 토폴로지를 채용한 25 kW급 계통연계형 태양광 인버터를 4-병렬해 운전 시 CAN 통신을 이용하여 각 인버터의 PWM 캐리어 위상을 동기화해 순환전류를 저감하기 위한 제어기법을 제시한다. 그리고, PSIM을 활용해 4-병렬된 태양광 인버터를 구현 및 시뮬레이션하여 본 논문에서 제안하는 병렬운전 제어기법의 타당성을 검증한다.

2. PWM 캐리어 위상 동기화 방법

그림 1은 CAN 통신을 이용하여 마스터·슬레이브 DSP 간 PWM 캐리어 위상을 동기화하기 위한 인터럽트 생성 구간을 나타내는 모식도이다. 본 논문에서는 25 kW급 태양광 인버터의 설계 및 병렬운전에 적합한 DSP로 Texas Instruments社의 TMS320F28377S를 채택한다. 마스터 DSP 내부 레지스터에 의해 생성되는 PWM 캐리어의 한 주기가 종료 시 인터럽트를 생성하여 슬레이브 DSP로 전송해 슬레이브 DSP의 PWM 캐리어 위상을 동기화한다. 각 DSP에서 생성하는 PWM은 내부 레지스터 설정에 따라 Dead Time을 반영하고, 상보적인 한 쌍의 PWM을 내보낸다. 본 논문에서 제안하는 계통연계형 태양광 인버터 병렬운전을 나타낸 제어 블록도는 그림 2와 같다.

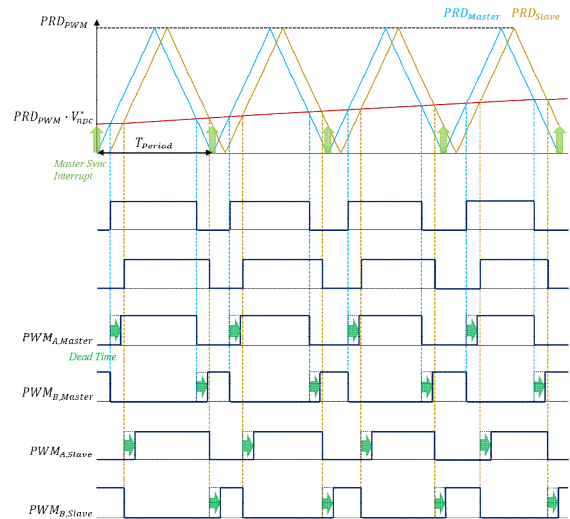


그림 1 제안된 PWM 캐리어 인터럽트 생성 구간

Fig. 1 Generation conditions of PWM carrier interrupts.

3. 시뮬레이션 결과

인버터의 설계 사양은 표 1과 같다. 실험을 통해 얻은 마스터·슬레이브 DSP 간 송·수신 시간 차이는 157 ns이다. 송·수신 시간 차이를 반영하여 PSIM으로 시뮬레이션한 결과는 그림 3과 같다.

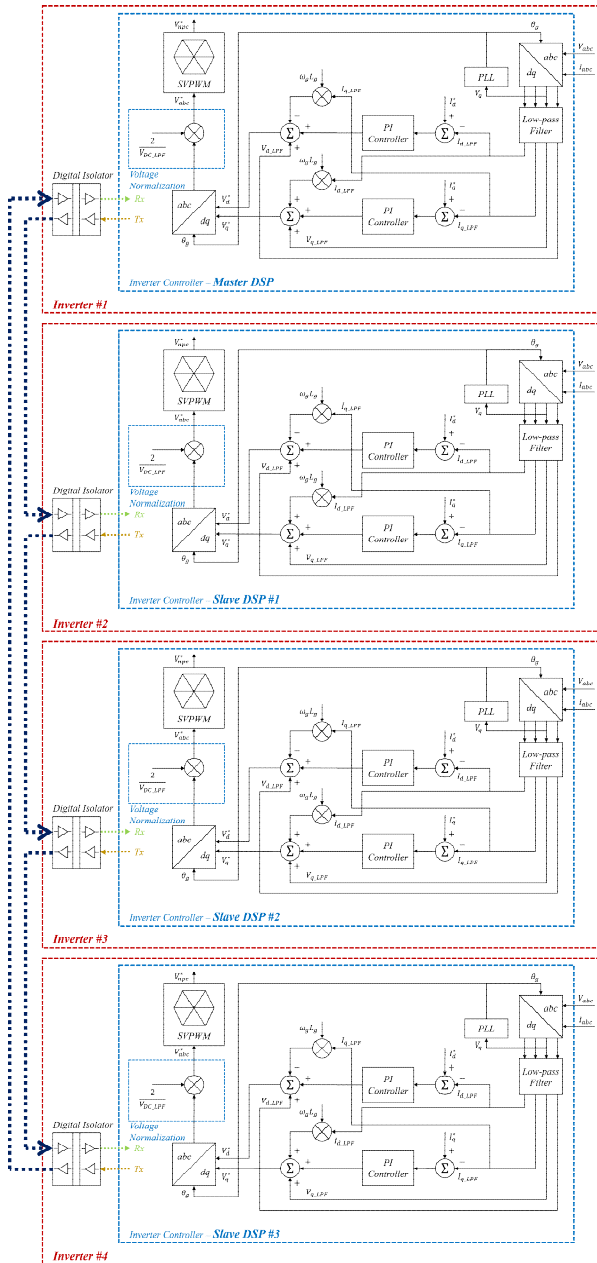
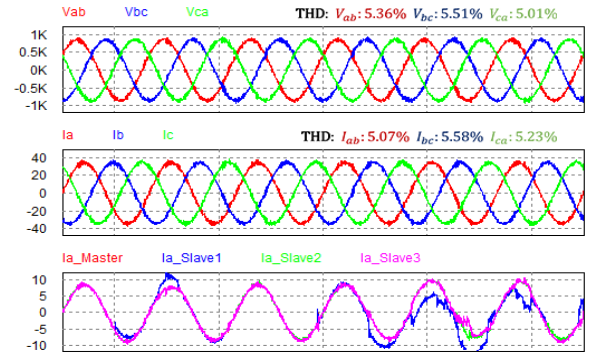


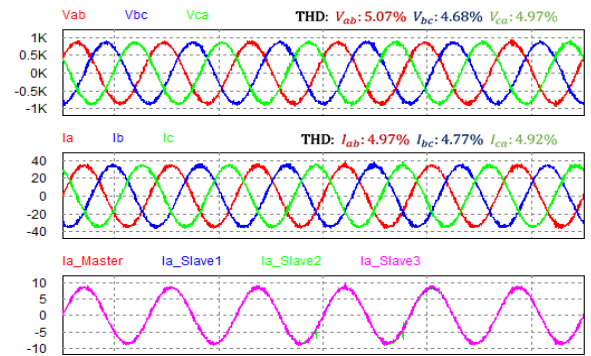
그림 2 제안된 인버터 병렬운전 제어 블록도
Fig. 2 Proposed control method for parallel operation of grid-tied PV inverters.

표 1 25 kW급 계통연계형 태양광 인버터 설계 사양
Table 1 Design specification of 25 kW grid-tied PV inverter.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	850 - 1200	V _{dc}
Nominal Voltage	V_{nom}	1000	V _{dc}
Output Power	P_{out}	25	kW
Line-to-Line Voltage	V_{LL}	600	V _{rms}
Output Current	I_{out}	24	A _{rms}
Switching Frequency	f_{SW}	20	kHz
Filter Inductance	L_f	150	μ H
Filter Capacitance	C_f	10	μ F
Grid Inductance	L_g	47	μ H
Damping Resistance	R_d	0.33	Ω



(a) 동기화 이전



(b) 동기화 이후

그림 3 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 3 Waveforms of simulation results.

시뮬레이션 결과 파형에서 확인할 수 있듯이, 각 DSP의 PWM 캐리어를 동기화시 각 선간전압 및 상전류의 THD는 동기화하지 않을 때보다 최대 0.83% 낮아짐을 알 수 있고, 각 인버터의 상전류 파형에도 왜곡이 감소함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 25 kW급 계통연계형 태양광 인버터를 4-병렬로 운전 시 발생하는 각 PWM 캐리어 위상의 불일치를 보상하기 위한 제어기법을 제안하였다. 실험을 통해 얻은 송·수신 시간 차이를 반영해 PSIM으로 시뮬레이션하여 제안한 제어방식의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20212020800020)

참 고 문 헌

- [1] J. H. Lee, M. Y. Cha, B. M. Han, "A Droop Control for the Autonomous Operation of DC Distribution System using Grid-tied Converter and Energy Storage", on Power electronics annual conference, pp. 32-33. 11, 2010.
- [2] L. Asiminoaei, E. Aeloiza, P. N. Enjeti and F. Blaabjerg, "Shunt Active-Power-Filter Topology Based on Parallel Interleaved Inverters", in IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp. 1175-1189. March 2008.