

3상 4선식 인버터를 위한 출력전압 과도특성 개선

김한구, 신민기, 김지수, 임승범
(주)이온

Improved Output Voltage Transient Response Characteristics for 3-Phase 4-Wire Inverter

Han-Goo Kim, Min-Ki Shin, Ji-Su Kim, Seung-Beom Lim
EON

ABSTRACT

본 논문은 2-stage로 구성된 전력변환 시스템에서 3상 4선식 출력을 갖는 인버터의 부하 급변시 발생하는 DC Link 전압 및 출력전압의 과도특성 개선에 관한 것이다. 컨버터와 인버터는 각각 전압제어기와 전류제어기를 갖는 이중루프로 구성되고 DC Link 전압의 과도특성을 개선하기 위해 컨버터의 전류제어기에 출력 전류에 대하여 전향보상하고 인버터는 각상제어기에 출력 전류에 대하여 전향보상하고 인버터는 각상제어기에 출력 전류를 각각 전향보상하는 것으로 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

UPS 및 3상 4선식의 인버터의 부하 조건에는 3상 평형 부하 외에도 단상 부하, 3상 불평형 부하 등 다양한 비선형 부하가 연결될 수 있다. 비선형 부하 및 부하 급변 시 DC Link 전압 강하로 인해 출력전압의 왜곡이 발생 할 수 있다.^[1] 출력 전압의 왜곡을 최소화하기 위해 DC Link 전압의 과도특성과 출력전압의 과도특성에 대하여 빠른 응답을 가질 필요가 있다. 본 논문에서는 부하 급변에 따른 출력전압의 과도 응답 특성을 개선할 수 있는 제어기를 제안한다.

2. 3상 4선식 출력을 갖는 인버터의 구조 및 제어기

2.1 단상 입력 / 3상 4선식 출력의 회로 구조

그림 1은 단상 입력, 3상 4선식 출력을 갖는 전력변환 시스템의 회로 구조로 입력은 단상 하프브릿지로 구성되고 출력은 중성선이 커패시터에 중성점에 연결된 2-레벨 3상 하프브릿지로 구성되어 있다. 또한 입력과 출력측에 고조파를 저감할 수 있도록 LC 필터로 구성되어 있다. 인터전류와 출력전류를 센싱하기 위해 각각 전류센서가 추가되어 있다.

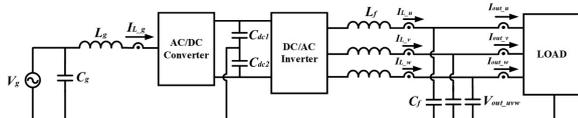


그림 1 전력변환 시스템의 회로
Fig. 1 Topology of power conversion system

2.2 과도응답 특성 개선을 위한 제어기

그림 2는 전력변환 시스템의 제어기 블록다이어그램으로 입력 단상 AC/DC 컨버터는 DC Link 전압을 제어하기 위한 전압제어기와 계통 역률 및 전류를 제어하는 전류제어기를 갖는 이중 루프로 구성되어 있고 전압제어기에는 PI 제어기, 전류제어기에는 PR 제어기를 적용하였다. 3상 4선식 출력을 갖는 DC/AC 인버터는 불평형 부하 및 비선형 부하에 대하여 원활한 제어를 위해 각 상별 독립적으로 제어한다. 각 상별 동일한 제어 구조를 가지며 출력전압을 제어하기 위해 전압제어기와 전류제어기를 갖는 이중루프로 구성되며 전압제어기와 전류제어기에 PR 제어기를 적용하였다. 또한 계통 전류 및 출력 전압에 대한 고조파를 보상하기 위해 각각의 전류제어기에 고조파 보상용 제어기가 병렬로 추가되어 있다. 3상 4선식 인버터는 각 상의 출력전압(V_{out})에 대하여 PLL(Phase Locked Loop)을 통해 각 상별 위상각을 검출하고 각 상의 출력 전류(I_{out})를 DQ변환으로 얻은 출력 전류($I_{out_{dq}}$)를 단상 AC/DC 컨버터의 전압제어기의 출력인 전류 레퍼런스에 전향보상함으로써 DC Link 전압강하를 최소화하며 정상상태에 빠르게 도달할 수 있다. 또한 안정적인 출력 전압을 제어하기 위해 각 상의 전류제어기 출력에 출력 전류(I_{out})를 전향보상함으로써 부하 급변에 대하여 출력 전압의 왜곡을 최소화할 수 있다.

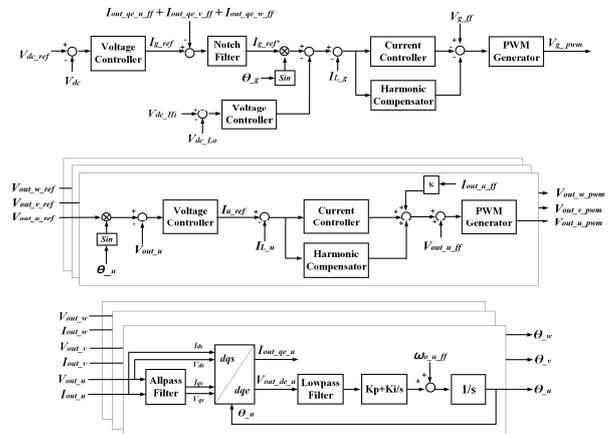


그림 2 전력변환 시스템의 제어 블록도
Fig. 2 Controller diagram with power conversion system

3. 실험 및 결과

제어기의 성능을 검증하기 위해 시제품을 제작하여 실험을 진행하였다. 표1은 시제품의 설계 사양이다.

표 1 전력변환 시스템의 설계 사양
Table 1 Design specification of power conversion system

Input Voltage	V_g	230Vrms
Output Phase Voltage	V_{out}	230Vrms
Rated Power	P	10kW
DC Link Voltage	V_{dc}	750V
Input LC Filter	L_g / C_g	0.27mH/24uF
Output LC Filter	L_f / C_f	0.9mH/7uF
Switch Frequency	f_{sw}	30kHz

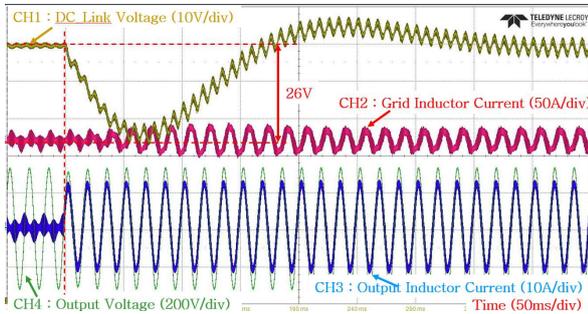


그림 3 출력 전류 전향보상 적용 전
Fig. 3 Before applying output current feedforward

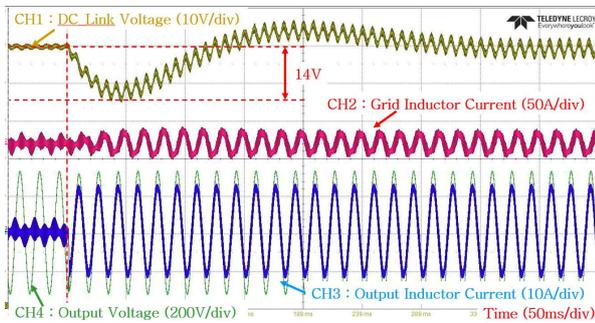


그림 4 출력 전류 전향보상 적용 후
Fig. 4 After applying output current feedforward

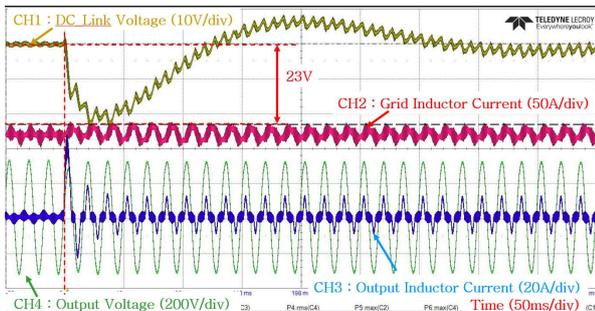


그림 5 비선형부하 조건에서의 출력 전류 전향보상 적용 전
Fig. 5 Before of applying output current feedforward under non-linear load conditions

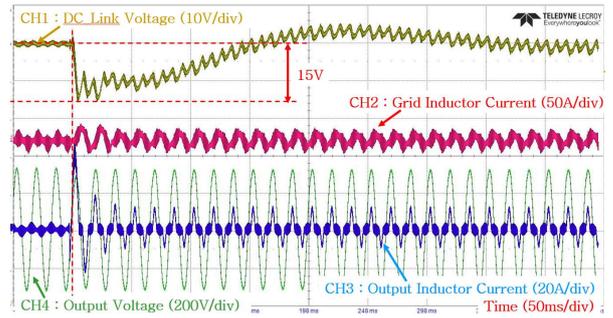


그림 6 비선형부하 조건에서의 출력 전류 전향보상 적용 후
Fig. 6 After of applying output current feedforward under non-linear load conditions

그림 3와 4는 선형부하 조건으로 무부하 상태에서 50% 부하 급변시 각 상의 출력 전류에 대하여 전향보상 전후의 DC Link 전압의 전압변동을 나타낸 것이다. 그림 4은 AC/DC 컨버터의 전압제어기의 출력인 전류 레퍼런스에 출력전류를 전향보상하기 전으로 부하 급변시 DC Link 전압 강하가 26V 발생하고 정상상태에 도달하는 시간은 약 400ms가 걸린다. 그림 5는 출력전류를 전향보상한 후 부하 급변시 DC Link 전압 강하가 14V 발생하고 정상상태에 도달하는 시간은 약 350ms로 과도 특성이 향상되는 것을 알 수 있다.

그림 5와 6은 비선형 부하 조건으로 무부하 상태에서 30% 부하 급변시 각 상의 출력 전류에 대하여 전향보상 전후의 DC Link 전압의 전압 변동을 나타낸 것이다. 출력 전류에 대하여 전향보상 시 DC Link 전압강하가 23V에서 14V로 감소하는 것을 확인 할 수 있고 정상상태에 빠르게 도달하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 3상 4선식 인버터의 부하 급변시 과도상태의 응답 특성을 개선하기 위한 제어기를 제안하였다. 인버터의 출력 전압에 대하여 각상 제어를 하고 각상에 대한 출력 전류를 각각 DQ 변환을 거쳐 부하에 공급되는 전류량을 계산하여 컨버터의 전류제어기의 레퍼런스에 전향보상하고 출력전류를 인버터의 전류제어기 출력에 전향보상함으로써 DC Link 전압의 과도응답 특성과 인버터의 출력전압 과도특성이 개선되는 것을 검증하였다.

이 논문은 한국전력공사 전력연구원의 용역 개발비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] J.Lu, M. Savaghebi and J. M. Guerrero, "Feedforward control strategy for the state-decoupling Stand-alone UPS with LC output filter," 2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications(EPE'17 ECCE Europe), pp. P.1-P.8 2017