

무정전전원장치용 단상인버터의 전향보상을 이용한 전압 제어기

홍창표*, 김학원*, 조관열*, 임병국*
한국교통대학교*

Voltage Controller Using Feedforward of Single-Phase Inverter for Uninterruptible Power Supply

Chang Pyo Hong*, Hag Wone Kim*, Kwan Yuhl Cho*, Byung Kuk Lim*
Korea National Univ of Transportation*

ABSTRACT

본 논문에서는 무정전전원장치(UPS : Uninterruptible Power Supply 이하 UPS)에서 사용되는 단상인버터의 전압 제어기의 낮은 대역폭으로 인하여 발생할 수 있는 전압 위상 지연 문제를 해결한다. 제안하는 방법은 전압 명령에 대한 전향보상을 이용한 새로운 전압 제어기를 제안하고 이를 MATLAB Simulink를 사용한 시뮬레이션을 통하여 효과를 입증하였다.

1. 서 론

상용전원의 정전이나 전압변동에 민감한 의료기관, 금융, 첨단 산업 장비, 승강기 등 높은 전원 품질에 대한 수요가 증가하면서 무정전전원장치의 필요성이 증가하고 있다. UPS란 상용전원이 정전이 되었거나 전압품질에 문제가 생겼을 경우 배터리를 사용하여 상용전원을 대처 혹은 품질개선의 역할을 하게 된다. 상용전원이 정전이 되었을 시에 UPS에서 상용전원과 같은 교류전력을 공급하기 위해서는 단상 인버터가 사용되는데 좋은 품질의 전력을 공급하기 위하여 듀얼 루프의 전압 전류 제어기가 사용되고 있으며, 전압 전류 제어기 모두 PI 제어기가 일반적으로 사용된다. PI제어기 특성상 직류 및 대역폭 보다 낮은 주파수 명령에는 좋은 성능을 보인다. 한편 듀얼 루프 제어기의 경우 전류 제어기의 대역폭은 높지만 전압 제어기의 대역폭은 낮아야한다. 이로 인하여 단상 인버터의 전압 제어기에서 대역폭의 문제가 존재한다. 단상 인버터의 전압 명령은 50/60Hz이나 단상 인버터가 이 전압 명령을 추종하려면 전압 제어기의 대역폭이 상당히 높아야하지만 전류 제어기의 대역폭과 중첩이 될 수 있어 대역폭을 높이는데 한계가 있다. 전압 명령과 같거나 낮은 주파수의 전압 제어기는 최종 출력 전압이 기준 전압과 다른 전압을 출력하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위해 전압 명령의 변화에 의하여 나타나는 위상 지연 문제를 전압 제어기에 전향 보상하는 전압 제어기를 제안하고 MATLAB Simulink를 사용하여 시뮬레이션을 통하여 효과를 입증하였다. [1]

2. 본 론

2.1 이중 전압-전류 제어기의 전압제어

UPS 단독 동작 시 단상인버터의 전압 전류제어기의 블록도는 그림.2.1과 같다. 제어기의 구성은 그림.2.2에 캐패시터에 KCL을 적용시킨 식 (1)과 인덕터에 KVL을

적용시킨 식(2)를 전제로 구성한다.

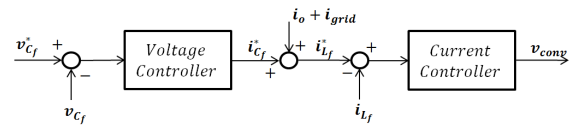


Fig. 2.1 Dual Loop Voltage to Current Controller Block diagram

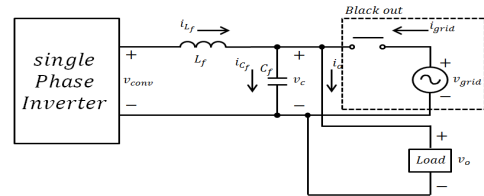


Fig. 2.2 Equivalent circuit of single-Phase inverter connected to the grid

$$i_{L_f} = i_{C_f} + i_o \quad (1)$$

$$L \frac{di_{L_f}}{dt} = v_{conv} - v_c \quad (2)$$

전압제어기는 PI제어기를 사용하여 구성되고 PI제어기의 수식은 식(3)과 같다.

$$C_f \frac{dv_{c_f}}{dt} = k_p (v_{c_f}^* - v_{c_f}) + k_i \int (v_{c_f}^* - v_{c_f}) dt \quad (3)$$

식(3)에서 보는바와 같이 제어기내에 적분항이 존재하여 Sampling Time마다 k_i 의 이득을 가지고 오차들이 누적되어 시간에 따라 주파수를 갖는 기준 전압에서는 정상상태 오차가 존재하게 된다.

2.2 제안하는 전압제어

그림 2.3은 제안하는 새로운 PI전압제어기이다. 2.1.2절에서 설명한 바와 같이 기존의 전압제어기로는 상용전원과 같은 전압을 공급하기 어렵다. 제안하는 전압제어기는 식 (4)를 기반으로 한다.

$$C_f \frac{dv_{c_f}}{dt} = k_p (v_{c_f}^* - v_{c_f}) + k_i \int (v_{c_f}^* - v_{c_f}) dt + C_f \frac{dv_{c_f}^*}{dt} \quad (4)$$

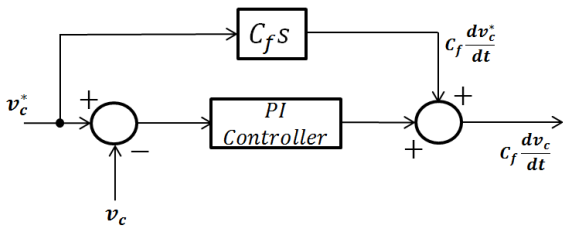


Fig. 2.3 block Diagram of The Proposed Voltage Controller

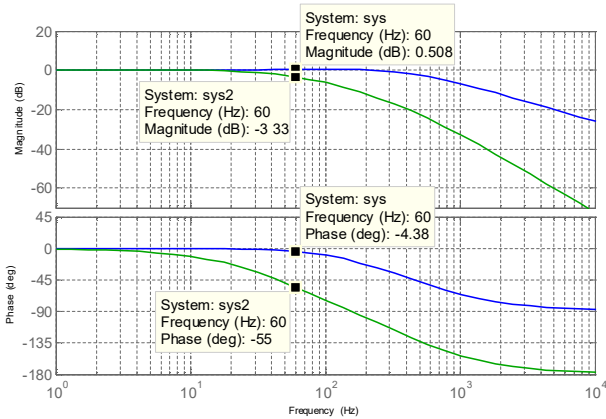


Fig. 2.4 Bode Plot of System Using The Proposed Voltage Controller and

출력전압이 지령전압에 도달하였을 때 흐르는 전류 $C_f \frac{dv_c^*}{dt}$ 가 전류지령에 전향 보상되어 제어가 이뤄진다.(이하 전향보상전류) 정상상태 오차가 존재할 때에는 전향보상전류가 PI제어기 출력과 더해져서 전류지령으로 보내진다. 정상상태 오차가 줄어들면 PI제어기의 적분 항에 누적된 오차들이 줄어들게 되고 전향보상전류가 PI제어기 출력보다 큰 값으로 전류지령으로 보내진다. 정상상태에 도달하였을 때는 전향보상전류만이 전류지령으로 나가게 됨으로써 PI제어기의 적분 항에 따른 위상지연 없이 기준전압과 같은 전압이 부하에 출력된다. PI제어기는 정상상태 오차가 존재할 때만 동작이 된다.

그림2.4는 기존의 제어기와 제안하는 제어기 두 개의 주파수 특성 보드 선도를 나타낸 것이다. 보드선도에 따르면 60[Hz]에서 기존의 제어기의 경우엔 이득(입력/출력)이 3.33[dB](0.681)이고 위상이 50° 지연됨에 비해 제안하는 전압제어기는 이득이 0.508[dB](=1.06)이고 위상은 4.39° 지연이 된다. 제안하는 제어기를 사용하게 되면 이득 감소와 위상 지연 문제가 해소됨을 확인하였다.

3.시뮬레이션 결과

기존의 전압제어기를 사용한 전압 전류 제어기와 제안하는 전압제어기를 사용한 전압 전류 제어기를 비교하기 위한 모의 해석 조건은 표 1과 같다. 그림2.5는 UPS장치가 단독 운전 시 기존의 제어방법(A)과 제안하는 제어방법(B)을 사용할 때에 출력 전압 파형이다. 기존의 제어방법에서는 RMS전압이 156.86[V]가 나왔고, 위상이 47.52°가 지연되었다. 그에 반해 제안하는 제어방법에서는 이득이나 위상 모두 상용전원과 근사한 전압이 출력됨을 확인하였다. 주파수 특성 보드선도와 시뮬레이션을 통하여 제안하는 전압제어 방법이 위상지연과 이득감소 문제를 해결할 수 있음을 입증하였다.

Table 1 Conditions used in the Simulated analysis

		Value
입력전압		330[V]
출력 rms전압, 주파수		220[V _{rms}], 60[Hz]
전력		5[kW]
Switching Frequency		5[kHz]
Filter Inductor, ESR		0.1[mH], 0.01[Ω]
Filter Capacitor		940[uF]
Band Width	Voltage controller.	50[Hz]
	Current controller	500[Hz]

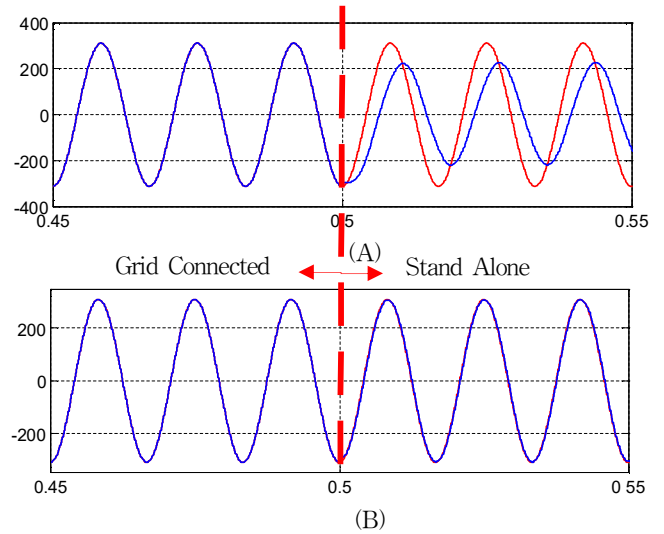


Fig. 2.5 (A)Output Voltage using Conventional Control Method (B)Output Voltage Using Proposed Control Method

4. 결론

본 논문에서는 단상인버터의 제어방법이 가지고 있는 문제를 해결하는 새로운 전압제어방법을 제안하였다. 단상인버터의 전압제어기로 사용되는 PI제어기의 적분 항에 의한 위상 지연 문제를 전향보상전류를 전류지령으로 보내는 새로운 전압제어를 제안하였다. 이를 주파수 특성 보드 선도와 모의 해석을 통하여 그 효과를 입증하였다.

본 논문은 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구한 논문입니다. (No. 2013011487)

참고 문헌

- [1] B C. Kuo, F. Golnaraghi, *Automatic control system*, 9th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [2] R W. Erickson, *Fundamentals of Power Electronics*, 2th Edition, Lucent Technologies, Inc., 1999.
- [3] Hyun Cheol Oh, Hag Wone Kim, Kwan Yuhl Cho, "Real Time Simulator for a Permanent Magnet Synchronous Motor with Power Converter" *Journal of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineering*, vol. 27, no 12, pp.11-12, Dec. 2013.