

무정전전원장치용 단상인버터의 강인한 전압제어기

구대관, 지준근, 차귀수, 문준희*

순천향대학교 전기통신공학과, *대림대학 메카트로닉스과

Robust Voltage Controller of Single-Phase Inverter for UPS

Dae-Kwan Ku, Jun-Keun Ji, Guesoo Cha, Jun-Hee Moon*

Soonchunhyang University, *Daelim University College

ABSTRACT

In this paper a robust voltage controller of single-phase inverter for UPS is presented. The voltage controller is designed using μ -based robust control scheme to simultaneously guarantee robust stability and robust tracking performance in presence of filter and load parameter variations. Firstly the robust performance of the resulting controller is theoretically confirmed via μ -analysis. Then simulation results for single-phase inverter system with linear and nonlinear loads demonstrate feasibility of the proposed control method providing improved performance - good regulation and fast dynamic response.

1. 서 론

단상 PWM 인버터는 무정전전원장치, 소규모 대체에너지 발전시스템 등 여러 분야에 적용되고 있다. UPS의 단상 인버터 출력 전압은 크기와 주파수가 일정하고 고조파가 없는 정현파가 되어야 하며, 외란에 강인해야 한다.^[1,2] 현재 대부분의 단상 UPS의 인버터 전압 제어 시스템은 다중제어루프(multiloop)로 전압 제어루프 안에 전류 제어루프가 있는 구조이다. 외부 전압 제어기는 정상상태 추종성능을 정하고, 내부 전류제어기는 외란에 대한 동특성을 정한다고 알려져 있다.^[1,3] 기존의 전압 제어기와 전류 제어기는 PI 제어기를 사용하였으나 지령이 정현파이기 때문에 정상상태에서 크기와 위상오차가 생긴다. 이런 정상상태 오차 문제점을 해결하기 위하여 전압 제어기에 비례-공진 제어기를 이용하여 정상상태 오차를 0으로 한 연구결과도 나와 있다.^[1,3,4]

본 논문에서는 3kVA UPS의 단상인버터 출력 전압에 대하여 μ -synthesis 이론을 이용한 단일루프 강인 제어기를 제안하고, PSIM 시뮬레이션을 통해 제안된 강인 제어기가 우수한 정상상태 특성과 부하 변동 및 인버터 출력 LC 필터 정수 변동에 강인하며 빠른 동특성을 가지는 것을 확인하였다.

2. UPS용 단상인버터 시스템의 전압제어기

2.1 단상 하프브리지 인버터와 출력필터 모델링

단상인버터에 연결된 필터와 부하를 그림 1에 도시하였다. 이 시스템을 상태공간표현으로 모델링하면 식 (1)과 같다.

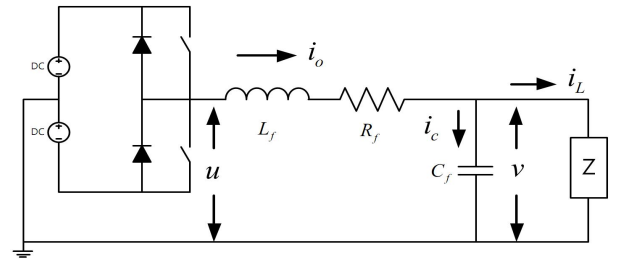


그림 1 단상인버터에 연결된 출력 LC 필터와 부하
Fig. 1 Filter and load connected to a single-phase inverter

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_L \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f} & -\frac{1}{L_f} \\ \frac{1}{C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ i_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 강인한 전압제어기 설계

MATLAB의 Robust Control Toolbox를 사용하여 μ 제어를 설계하였다. 제어기 설계를 위해서는 첫 번째로 제어대상계의 불확실성을 포함한 일반적인 제어대상계를 구성하여야 하고, 다음에는 불확실성을 갖는 각 변수들의 범위를 정의하고, 성능조건을 만족시킬 가중함수를 정하여야 한다. 불확실성을 포함한 일반적인 제어대상계는 그림 2와 같다.

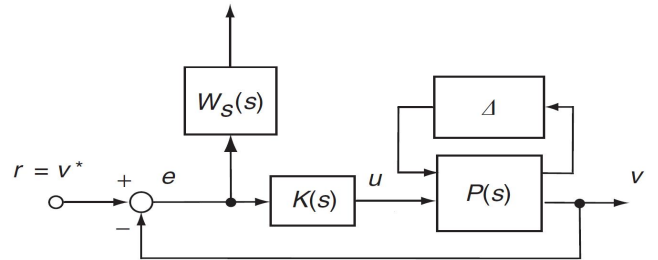


그림 2 파라미터 불확실성을 포함한 일반화된 플랜트
Fig. 2 Generalized plant including parameter uncertainties

P는 필터를 포함한 단상 인버터이고, K(s)는 설계할 제어기이며, Ws는 시스템의 감도(sensitivity)에 대한 가중함수이고, Δ 는 제어대상계 P의 변수불확실성이다. 필터를 구성하는 수동소자들의 공칭값(nominal value)과 불확실성에 의해 발생하는 최대값과 최소값은 표 1에 나타내었다.

표 1 필터 정수의 공칭, 최대, 최소값

Table 1 Nominal, Min., & Max. values of filter parameters

Variable	Nominal	Min.	Max.
L_f [mH]	1.5	1.425	1.575
C_f [μ F]	10	9.5	10.5
R_f [ohm]	0.03	0.025	0.1

단상 UPS의 정격출력은 3kVA이고, 출력전압은 220V(RMS)이다. 역률 0.8의 부하를 고려하여 UPS가 허용가능한 출력의 범위를 V^2 으로 나누면 이는 부하의 어드미턴스(admittance)의 범위가 된다. 유효전력 측면에서 허용가능한 최대 저항부하는 16[Ω] 정도가 된다. 제어의 목표를 필터의 공진주파수 이전의 대역폭에서 탁월한 추종성능으로 하고, 이 영역에서 시스템의 감도를 낮추도록 하였다. μ -synthesis를 통해 설계된 제어기를 적용한 폐루프 시스템의 감도의 상한값은 감도가중함수의 역함수보다 작게 된다. 감도 가중함수의 역함수와 μ -synthesis를 통해 성공적으로 설계된(즉, 강인성능의 구조적인 특이값의 최대가 1 이하가 된) 제어기를 적용한 시스템의 감도를 그림 3에 도시하였다.

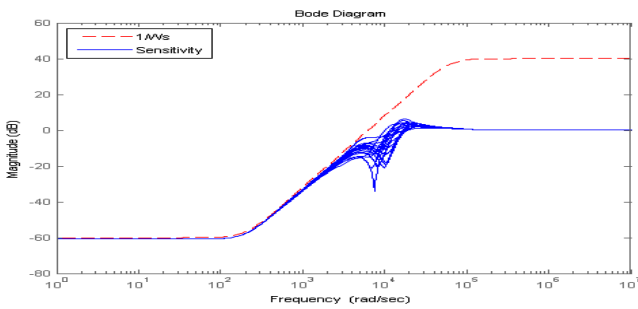


그림 3 페루프 시스템의 감도

Fig. 3 sensitivity of the closed-loop system

3. 시뮬레이션 결과

3.1 부하변동에 대한 전압제어기 응답

그림 4는 R-L 선형부하 인가 상태에서 캐패시터 입력형 다이오드 정류기 비선형부하를 병렬로 스텝 인가한 경우의 지령전압, 출력전압, 부하 인가 신호와 출력전류, 정류기 입력전류 파형으로서, 정류기 부하는 0.025s ~ 0.075s 동안 인가된다. 그림 4의 결과 파형으로부터, 제안된 전압제어기가 부하변동에 강인하며 비선형부하에 대한 정상상태 및 과도상태의 동특성에 대해서도 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

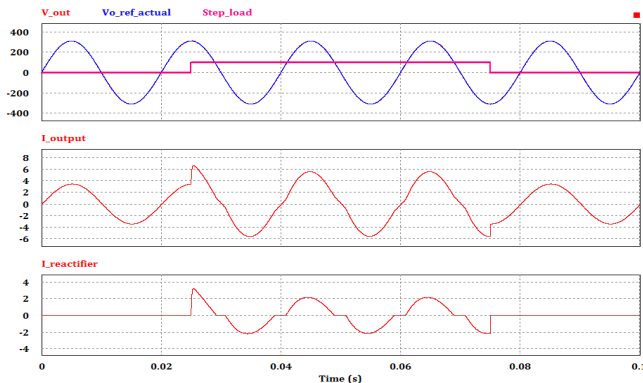


그림 4 비선형 부하변동에 대한 전압제어기 응답

Fig. 4 Voltage controller response to nonlinear load change

3.2 필터정수 변동시 전압제어기 응답

LC 필터정수 변동에 대한 강인성을 시험하기 위해 부하는 저항부하로 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 5는 저항 부하 상태에서 필터 인덕터와 캐패시터 값이 공칭값 대비 -20%, 인덕터 등가직렬저항이 0.025 Ω 일 때 지령전압, 출력전압, 부하전류 파형을 나타낸다. 그림 5의 결과 파형은 피크값 부근에서 약간의 고조파를 함유하고 있는데, 필터 정수 변동으로 인한 대역폭이 변화하여 생기는 현상이다. 제안된 전압 제어기는 필터 인덕터와 캐패시터 정수의 -20%, 등가직렬저항의 최소값까지 변동에 강인하다고 할 수 있다.

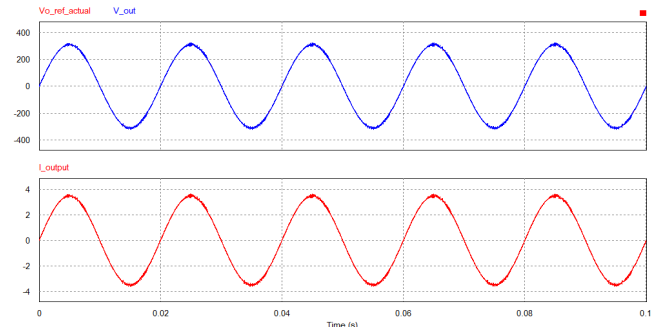


그림 5 필터정수 변동시 전압제어기 응답

Fig. 5 Voltage controller response to filter parameter change

4. 결론

본 논문에서는 단상 UPS 인버터의 출력 전압 제어를 위해 μ -synthesis 방법으로 설계한 단일루프 강인 제어기를 제안하였다. 제안된 제어기의 성능을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며 비선형 부하를 포함한 부하변동과 필터정수 변동에 대해 정상상태 추종, 과도상태 동특성 부분에서 좋은 성능을 보여주었다.

이 논문은 순천향대학교 연구년 지원프로그램에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] 박지호, 노태균, 김춘삼, 안인모, 우정인, "UPS 인버터의 성능 개선을 위한 강인한 2중 디지털 제어기의 설계", 전력전자학회논문지, 제8권 제2호, pp. 116~127, 2003.
- [2] 정세교, 이대식, "PLL 기법을 이용한 단상 PWM 인버터의 정상상태 성능 개선", 전력전자학회논문지, 제9권 제4호, pp. 356~363(8pages), 2004.
- [3] Poh Chiang Loh, M.J. Newman, D.N. Zmood, D.G. Holmes, "A Comparative Analysis of Multiloop Voltage Regulation Strategies for single and Three-Phase UPS systems", IEEE Trans. Power Electron., Vol. 18, pp. 1176 - 1185, 2003, Sept.
- [4] Poh Chiang Loh, D.G. Holmes, "Analysis of multiloop control strategies for LC/CL/LCL-filtered voltage-source and current-source inverters", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 41, pp. 644-654, 2005, March/April.