

# 반복 제어를 이용한 단상 하프 브리지 인버터의 전압제어

박종화, 조현길, 조현식, 차한주  
충남대학교

## Voltage Control of Single-Phase Half Bridge Inverter Using a Repetitive Controller

Jonghwa Park, Hyeungil Jo, Hyunsik Jo, Hanju Cha  
Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 비례 공진 제어기와 반복 제어기를 결합한 단상 하프 브리지 인버터의 전압 제어에 대해 연구하였다. 연구 결과 고조파 발생 시 전체적으로 시스템에 문제를 야기하는 것을 확인하였으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 기본과 성분을 제어하던 기존의 비례 공진 제어기에 반복 제어기 알고리즘을 결합하였다. 그 결과 추가적으로 인버터 데드타임에 의해 발생하는 고조파를 보상하였다. 그에 따른 성능은 시뮬레이션을 통하여 비례 공진 제어기만을 사용했을 때와 비교, 분석 및 검증하여 THD가 7.91[%]에서 4.62[%]로 약 3.29[%] 감소하는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 에너지 보존과 기존 에너지의 고갈로 인해 신·재생에너지 시스템의 보급이 빠르게 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 시스템의 경우 인버터를 사용하여 직류에서 교류로 변환하고 있다. 하지만 인버터는 스위치의 단락을 보호하기 위하여 스위칭 주기 중에 데드 타임이 포함하고 있기 때문에 고조파로 인해 오차가 발생한다. 데드 타임의 보상을 고려하지 않는다면 발생하는 오차로 인해 출력전압에 왜곡이 발생하게 되며, 실제 부하에 인가되는 출력전압에서 기본파의 전압이 감소하는 문제가 발생하게 된다. 반복제어기는 오차를 저감시켜 고조파 보상이 가능하여, 이러한 문제를 해결할 수 있다.<sup>[1],[2]</sup>

본 논문에서는 기존의 비례 공진 제어기에 반복 제어기를 추가하여 고조파를 좀 더 효과적으로 보상하는 제어기법을 제안하였다. 비례 공진 제어기만을 사용했을 때와 반복 제어기를 추가하였을 때를 비교하여, 오차가 저감하는 것을 확인하여, 반복 제어기 이론의 타당성을 검증하였다.

### 2. 반복제어를 적용한 전압제어

#### 2.1 반복 제어기

반복 제어기는 선택오차에 대하여 모델링을 하고 미리 보상하여 오차를 저감하는 제어기이다. 반복 제어기의 전달함수는 식 (1)로  $k_r$ 는 제어기의 비례이득,  $Q(z)$ 는 이산시간영역의 저역 통과 필터로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 시지연함수를 나타내는  $z^{-N}$ 은 제어기의 샘플링 타임과 반복제어를 원하는 주파수를 선정하여, 지연함수의 차수를 표현할 수 있다.

$$G_r(z) = k_r \frac{Q(z)Z^{-N+m}}{1-Q(z)Z^{-N}} \tag{1}$$

$$Q(z) = 0.25z + 0.5 + 0.25z^{-1} \tag{2}$$

#### 2.2 인버터 전압제어

그림 1은 단상 하프 브리지 인버터의 구성을 나타낸다. 기존의 비례 공진 제어기의 입력 단에 반복 제어기를 직렬로 결합한 블록다이어그램의 경우 그림 2과 같이 나타낼 수 있다.  $V_O^*$ 와  $V_O$ 는 각각 시스템의 입력과 출력의 함수를 나타낸다.  $E(z)$ 는 입력과 출력의 오차이며,  $G_{RC}(z)$ 는 반복 제어기의 이산시간영역의 전달함수이며,  $G_{PR}(z)$ 는 식 (3)의 이산시간영역에서의 전달함수로 비례 공진 제어기를 나타낸다. 제어기와 PWM 및 시스템 시지연  $1.5T_s$ 를 고려한 블록다이어그램을 구성하였으며, 그림 3의 보드선도를 통해서 제어기의 주파수 응답특성을 확인했다.

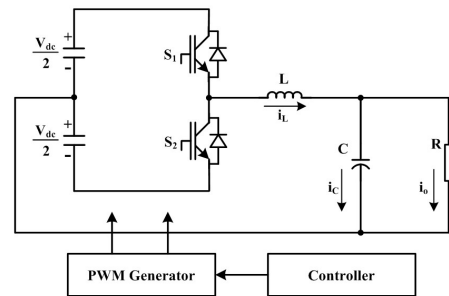


그림 1 단상 하프 브리지 인버터  
Fig. 1 Single-phase half bridge inverter

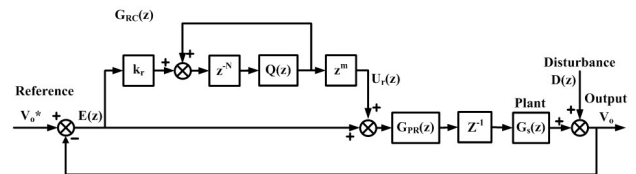


그림 2 z-도메인에서 제어 블록다이어그램  
Fig. 2 Control block diagram in z-domain

$$G_{PR}(s) = k_p + \frac{k_i \omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_p} \tag{3}$$

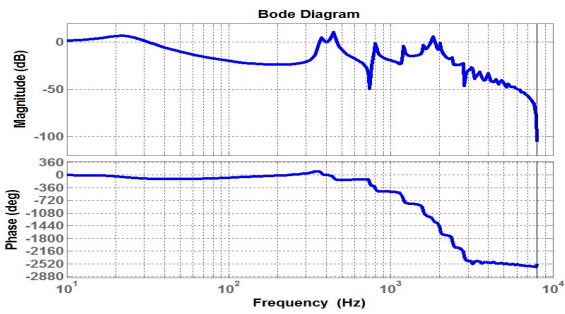


그림 3 반복 제어가 결합된 제어기의 보드 선도  
Fig. 3 Bode plot of coupled PR controller with repetitive controller

### 3. 시뮬레이션 결과

비례 공진 제어기에 결합한 반복 제어기의 성능을 검증하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 나타냈으며, 분석을 위해 비례 공진 제어기를 사용했을 때와 반복 제어기를 결합하였을 때로 분류하여 비교하였다.

표 1 단상 하프 브리지 인버터의 파라미터  
Table 1 Parameters of single-phase bridge inverter

구분	크기
Switching Frequency	16[kHz]
Fundamental Frequency	400[Hz]
Electric Power	2.5[kW]
Vdc	500[V]
Vc (Output Voltage)	115[Vrms]
R (Load)	5.3[Ω]
L (Inductor)	50[μH]
C (Capacitor)	150[μF]

그림 3과 그림 4는 비례 공진 제어기와 비례 공진 제어기에 반복 제어가 결합된 제어기 각각의 오차의 출력과 FFT 분석파형을 나타냈다. 비교 값의 경우 표 2를 통해 나타냈다. 표 2를 통해 반복 제어기를 결합한 제어기의 경우 오차의 기본과 성분과 3, 5고조파 성분이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

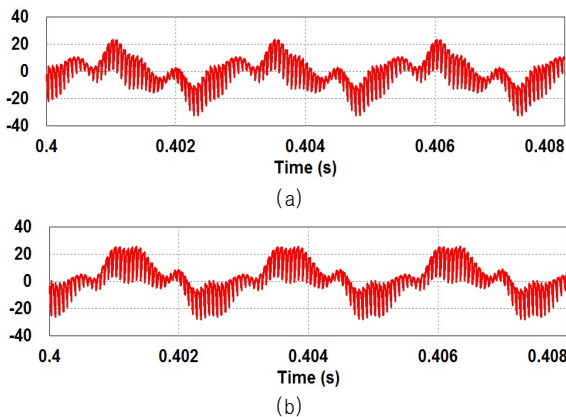


그림 4 비례 공진 제어기와 반복 제어가 결합된 제어기 오차의 출력 파형(a:비례 공진 제어기, b:반복 제어가 결합된 제어기)  
Fig. 4 Output waveform of error using PR controller and coupled PR controller with repetitive controller(a : PR controller , b : coupled PR controller with repetitive controller)

표 2 비례 공진 제어기와 반복 제어가 결합된 제어기의 오차 크기

Table 2 error magnitude of PR controller and coupled controller with repetitive controller

오차		비례 공진 제어기	반복제어기 결합
FFT	400[Hz] (기본파)	6.87[V]	0.55[V]
	1,200[Hz] (3고조파)	5.02[V]	3.03[V]
	2,000[Hz] (5고조파)	3.72[V]	3.06[V]

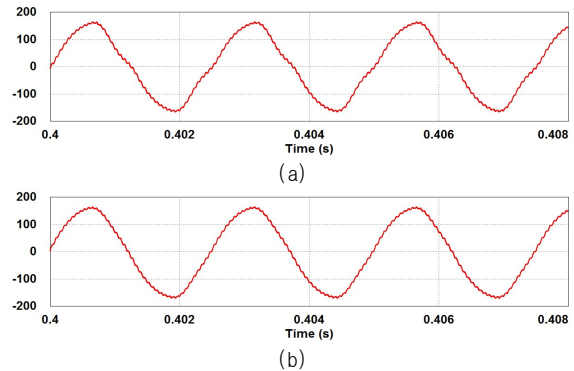


그림 5 비례 공진 제어기와 반복 제어가 결합된 제어기 전압의 출력파형(a : PR 제어기, b : 결합된 제어기)

Fig. 5 Simulation waveform of output voltage using PR controller and coupled PR controller with repetitive controller(a : PR controller, b : coupled PR controller with repetitive controller)

그림 5(a)와 (b)의 전고조파왜율(THD)은 7.91[%], 4.62[%]이다. 반복 제어기를 추가한 후 THD가 감소함에 따라 출력전압이 개선되는 것을 확인했다.

### 4. 결론

기존의 단상 하프 브리지 인버터는 비례 공진 제어기를 사용하였으나, 기존의 제어기로는 보상하기 힘든 고조파 성분을 제거하기 위해 비례 공진 제어기에 직렬로 반복 제어기를 결합하여 연구하였다. 반복 제어가 결합된 제어기법을 적용하여, 시뮬레이션을 통해 비례 공진 제어기만을 사용했을 때와 비교, 분석하여 확인한 결과 3, 5고조파 성분이 감소하였다. THD는 7.9[%]에서 4.62[%]로 약 3.29[%]로 감소하는 것을 확인하여 전력의 품질이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] B Zhang, D Wang, K Zhou, Y Wang, " Linear Phase Lead Compensation Repetitive Control of a CVCF PWM Inverter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 4, pp.1595-1602, April 2008.
- [2] S.Fukuda, T.Yoda, " A Novel Current-Tracking Method for Active Filters based on a Sinusoidal Internal Model," IEEE Trans. on Ind. April, Vol. 37, No. 3, pp.888-895, 2001.