

# 위상천이 폴브리지 컨버터의 전압제어기 게인값 선정에 따른 영향 분석

배성진, 투안 안, 최재호  
충북대학교

## Impact analysis in accordance with the voltage control gain of phase shift full-bridge converter

Sungjin Bae, Tuan Anh Nguyen, Jaeho Choi  
Chungbuk National University

### ABSTRACT

본 논문은 위상천이 폴브리지 컨버터의 전압 제어기 설계에 있어 게인값의 선정에 따른 위상 이득, 게인 이득을 통해 안정도를 판별하고 게인값에 따른 시스템의 응답특성을 고려하여 최적값을 설계하는데 목표를 두고 있다. MATLAB의 Bode plot을 통해 안정도 및 응답특성을 확인하였고 PSIM 시뮬레이션을 통해 제어가 잘 되는지 확인하였다.

### 1. 서론

최근 급속한 산업 발전으로 인해 전력변환장치는 실생활의 모든 전자제품에 적용되어 있다고 봐도 무관하다. 이 전력변환장치는 시스템의 고효율화, 소형화, 경량화 등을 목표로 발전하고 있고, 이를 실현하는데 있어서 필요한 고속스위칭은 인덕터, 커패시터, 트랜스포머와 같은 소자의 부피를 줄이고 고조파를 줄임으로써 시스템의 효율을 높일 수 있지만 과도한 스위칭손실이 발생한다는 단점을 가지고 있다.<sup>[1]</sup>

이러한 단점을 보완하기 위해 영전압 스위칭이 가능하여 소자의 스위칭 스트레스를 줄이고 효율을 향상 시키기 위한 위상천이 폴브리지 컨버터에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 이러한 위상천이 폴브리지 컨버터의 전압 제어기 설계에 있어 게인값에 따른 위상 이득과 게인 이득을 통해 안정도를 판별하고 시스템의 응답특성을 확인하여 최적값을 설계하는데 목표를 두고 있다.

### 2. 소신호 모델링

#### 2.1 위상천이 폴브리지 컨버터의 소신호 모델링

벽 컨버터의 소신호 모델에서 제어입력  $\hat{d}$ 를 유효 듀티비  $\hat{d}_{eff}$  즉  $\hat{d}_{eff} = \hat{d} + \hat{d}_i + \hat{d}_v$  로 대체하면 위상천이 폴브리지 컨버터의 모델을 얻을 수가 있다.<sup>[3]</sup>

#### 2.2 전달함수

출력전압 제어를 위해 시스템의 전달함수가 필요하다. 소신호 변동에 의한 임피던스 변화량을  $R_d$ 라고 하면  $R_d$ 는 필터 앞단에 위치하게 된다. 플랜트의 출력 대 변압기 2차측 듀티비 전달함수는 식(1)과 같이 나타 낼 수 있다. ( $R_d = 4n^2 L_{lk} f_s$ )

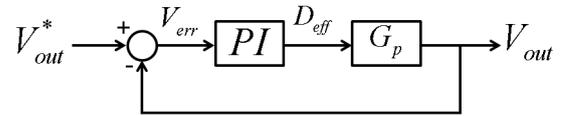


그림 1. 페루프 시스템의 블록다이어그램

$$G_p = \frac{n V_{in}}{s^2 LC + s \left( \frac{L}{R} + R_d C \right) + \frac{R_d}{R} + 1} \quad (1)$$

### 3. 제어기 설계

제어기 설계는 극배치기법을 이용하여 이루어졌으며 컨버터 시스템은 식(2)와 같은 PI제어기를 적용하여 출력제어를 한다.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2)$$

제어기를 포함한 블록다이어그램은 그림 1과 같다. 전체 시스템의 페루프 전달함수는 식(4)로 유도될 수 있다.

$$G(s) = \frac{G_c(s) G_p(s)}{1 + G_c(s) G_p(s)} \quad (3)$$

$$G(s) = \frac{\frac{snRV_{in}K_p + nRV_{in}K_i}{LCR}}{s^3 + s^2 \frac{L + RR_d C}{LCR} + s \frac{R_d + R + nRV_{in}K_p}{LCR} + \frac{nRV_{in}K_i}{LCR}} \quad (4)$$

$$\Delta = LCRs^3 + (L + RR_d C)s^2 + (R_d + R + nRV_{in}K_p)s + nRV_{in}K_i \quad (5)$$

극배치기법을 이용하여 시스템에 영향을 미치는 중요한 2개의 극과 큰 영향을 미치지 못하는 다른 하나의 근을 식(6)과 같이 정의한다.

$$s_{1,2} = -\xi\omega \pm j\omega \sqrt{1 - \xi^2}, \quad s_3 = -m\xi\omega \quad (6)$$

방정식(6)을 이용하여 아래의 식을 얻을 수 있는데

$$P(s) = s^3 + (2+m)\xi\omega s^2 + (1+2\xi^2m)\omega^2s + m\xi\omega^3 \quad (7)$$

이 식을 특성방정식과 계수 비교를 식(8)과 같이 함으로써 PI제어기의 파라미터를 구할 수 있는데  $\omega$  값 및 제어기의 게인 값은 식(9)과 같이 계산 된다.

$$\begin{cases} \frac{L+RR_dC}{LCR} = (2+m)\xi\omega \\ \frac{R_d+R+nRV_{in}K_p}{LCR} = (1+2\xi^2m)\omega^2 \\ \frac{nRV_{in}K_i}{LCR} = m\xi\omega^3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \omega = \frac{L+RR_dC}{LCR(2+m)\xi} \\ K_p = \frac{LCR(1+2\xi^2m)\omega^2 - R_d - R}{nRV_{in}} \\ K_i = \frac{LCm\xi\omega^3}{nV_{in}} \end{cases} \quad (9)$$

오버슈트 10%이내, 정정시간 10ms이내의 조건을 만족하는 세 가지 경우를 취하고 표1에서 파라미터 값들을 나타내었다.

그림 3은 이 세 가지 경우의 보드 선도를 보여준다. 이 보드 선도를 보면 알 수 있듯이 모든 경우가 위상 이득과 게인 이득을 가지고 있어 시스템은 안정하다 판단할 수 있다. 이 중에서 오버슈트가 0[%]이고 정정시간이 1.25[ms]인 Case 3번을 선택하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표1. 세 가지 경우의 제어기 파라미터 값

	Case 1	Case 2	Case 3
$m$	3	3	5
$\xi$	0.8	0.91	0.91
$K_p$	0.0112	0.0103	0.0063
$K_i$	54.8146	42.3636	25.7311
Overshoot[%]	6	2	0
Response Time[ms]	0.441	0.605	1.25

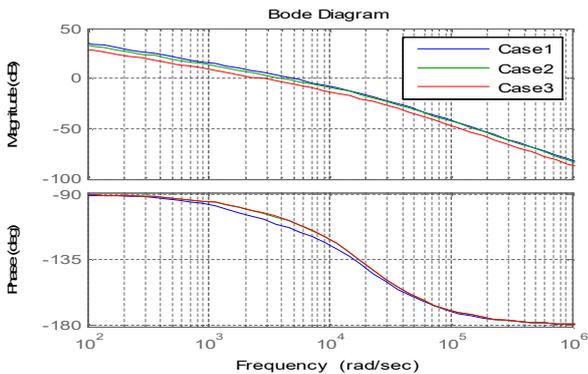


그림 3. 세 가지 경우 보드 선도

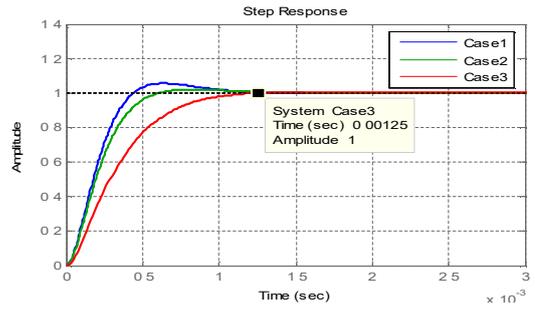


그림 4. 세 가지 경우 응답특성

#### 4. 시뮬레이션 결과

PSIM 시뮬레이션 결과는 그림 5에서 보여주고 있다. REF 전압을 60V에서 70V로 변경시 Overshoot가 발생하지 않고 1.25[ms]정도에 추종하는 것을 보여주고 있다.

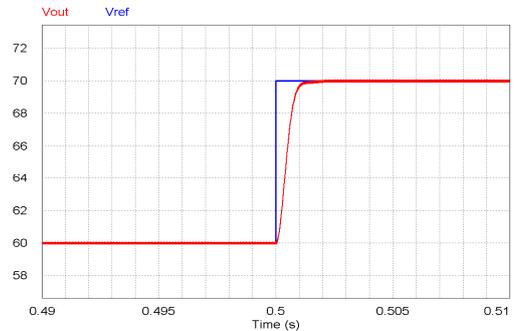


그림 5. REF전압 변경에 따른 출력전압 응답속도(60V->70V)

#### 5. 결론

본 논문에서는 폴브리지 컨버터의 전압 제어기의 게인값을 조정해봄으로써 보다 안정적이고 빠른 응답특성을 갖는 게인값을 찾아 제어하였으며 PSIM 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 확인하였다.

위상천이 폴브리지 컨버터는 출력단의 인덕터, 커패시터 및 변압기의 용량을 감소시킬 수 있으므로 직류안정화 전원장치를 사용한 각종 전원장치의 부피감소를 도모할 수 있다. 앞으로도 이 컨버터를 이용하여 고효율화, 소형화, 경량화된 시스템을 구축하여 더욱 다양한 분야에 활용될 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] 서재광, "위상이동 제어방식을 이용한 폴브리지 컨버터의 효율 개선에 관한 연구" 동국대학교 석사학위논문, 1998
- [2] Arya P S, Chithra R, "Phase Shifted Full Bridge DC DC Converter" *IRJET*, Vol.2, July 2015.
- [3] Vlatko Vlatkovic, Juan A. Sabate, Raymond B.Ridley, Fred C. Lee, "Small Signal Analysis of the Phase Shifted PWM Converter" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.7.No.1, January 1992.