

# 양방향 인버터의 Two Loop Controller 해석 및 설계에 관한 연구

황규일, 김일송  
한국교통대학교

## A Study on Analysis and Design Two Loop Controller of Bi-Directional Inverter

Kyu Il Hwang, Il Song Kim  
KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF TRANSPORTATION

### ABSTRACT

본 연구에서는 양방향 인버터의 해석과 설계 방법을 Matlab SISO TOOL과 PSIM을 이용한 Two Loop Control방법으로 제안하였다. 일반적인 회로 및 제어기 설계 방법으로는 회로와 제어기를 각각 설계하여 시제품으로 측정하는 방법과 이상적인 모델을 이용하여 시뮬레이션 하는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 상용소자모델로 구성된 인버터를 PSIM으로 설계하였고, Matlab을 이용하여 시뮬레이션 함으로써 일반적인 방법보다 높은 신뢰성을 가지는 시뮬레이션 방법을 제안한다.

### 1. 서론

최근 3상 DC/AC 인버터는 모터 구동 시스템, UPS 등의 산업시스템과 신재생에너지 시스템에서 많이 사용되고 있다. 3상 DC/AC 인버터는 일정한 DC전압과 정현적인 계통전류를 제어할 수 있으며, 단위 역률제어 및 양방향 전력전달이 가능하다.<sup>[1]</sup>

일반적으로 양방향 인버터의 제어기는 외부의 전압 제어기와 내부의 전류 제어기 각각 Single Loop로 구성된다.<sup>[2]</sup> 그러나 본 연구에서는 인버터의 시스템 요구사항을 만족시키는 Two Loop 제어기 설계에 대해 서술한다.

### 2. 양방향 인버터

#### 2.1 인버터의 상태 평균화 모델

인버터의 모델은 일반적으로 스위치 동작에 의하여 비선형 특성의 방정식이 유도 된다. 유도한 방정식을 선형화하기 위하여 상태공간 표현식을 적용하여 시스템 변수 중 동적 특성을 내재한 변수를 선정한 후 인덕터, 캐패시터 개수에 따른 상태 변수를 가지고 키르히호프의 KCL, KVL를 통하여 1차 미분 방정식을 다음 수식 (1),(2),(3)와 같이 정립하였다.

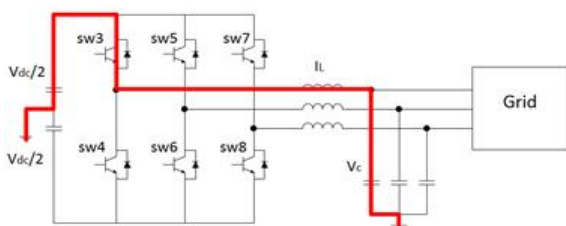


그림 1 ON Time 인버터 등가회로

Fig. 1 ON Time Inverter Equivalen Circuit

$$\text{ON} : \frac{V_{dc}}{2} = L \frac{di_a}{dt} + V_{ca}, i_a = C \frac{dV_{ca}}{dt} + \frac{V_{ca}}{R} \quad (1)$$

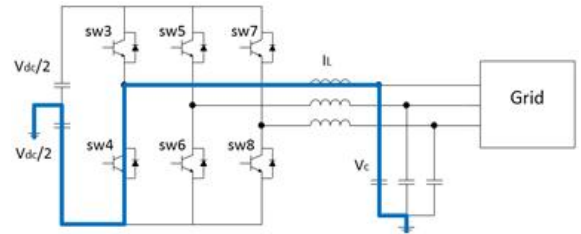


그림 2 OFF Time 인버터 등가회로

Fig. 2 OFF Time Inverter Equivalen Circuit

$$\text{OFF} : -\frac{V_{dc}}{2} = L \frac{di_a}{dt} + V_{ca}, i_a = C \frac{dV_{ca}}{dt} + \frac{V_{ca}}{R} \quad (2)$$

상태공간표현식을 통해 수식 3과 같이 정립되고 상태평균화 모델을 통해 수식 4와 같이 정립할 수 있다.

$$L \frac{di_a}{dt} = \left( \frac{V_{dc}}{2} - V_{ca} \right) d + \left( \frac{V_{dc}}{2} - V_{ca} \right) (1-d) = V_{dc} d - \frac{V_{dc}}{2} - V_{ca}$$

$$C \frac{dV_{ca}}{dt} = i_a - \frac{V_{ca}}{R} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{dV_{ca}}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ V_{ca} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{V_{dc}}{L} \\ 0 \end{pmatrix} d + \begin{pmatrix} -\frac{1}{2L} V_{dc} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{dV_{ca}}{dt} \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \frac{V_{dc}}{L} \\ 0 \end{pmatrix}, U = d$$

$$\dot{X} = AX + BU - \frac{1}{2} B \quad (4)$$

수식 4에서 입력  $d = D + d$ 로 정의하면 수식 5로 나타내고, 수식 6, 7, 8의 전달함수를 구할 수 있다.

$$\dot{X} = AX + B(D+d) - \frac{1}{2}B \Rightarrow D = 0.5 \quad (5)$$

$$D = 0.5 \Rightarrow \dot{X} = AX + Bd$$

$$\frac{I_a(s)}{d_a(s)} = \frac{\frac{V_{dc}}{L\left(s + 1\frac{R}{C}\right)s + \frac{1}{LC}}}{s^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)s + \frac{1}{LC}} = G_1(s) \quad (6)$$

$$\frac{V_a(s)}{d_a(s)} = \frac{\frac{V_{dc}}{LC}}{s^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)s + \frac{1}{LC}} = G_2(s) \quad (7)$$

$$\frac{V_a(s)}{I_a(s)} = \frac{\frac{1}{C}}{s + \left(\frac{1}{RC}\right)} = G_3(s) \quad (8)$$

## 2.2 제어기 설계 및 시뮬레이션

표 1 양방향 인버터 Two Loop 제어기 설계 회로 파라미터  
Table 1 Controller design circuit parameters

Parameters	Value	[Unit]
입력전압	650	[V]
Omega	377	
R	25	[Ω]
C	100	[μF]
L	2.4	[mH]

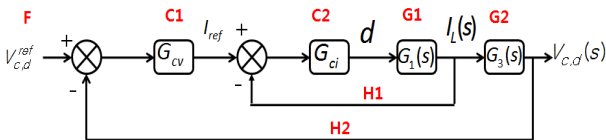


그림 3 Two Loop 제어기 구성  
Fig. 3 Two Loop Controller Configuration

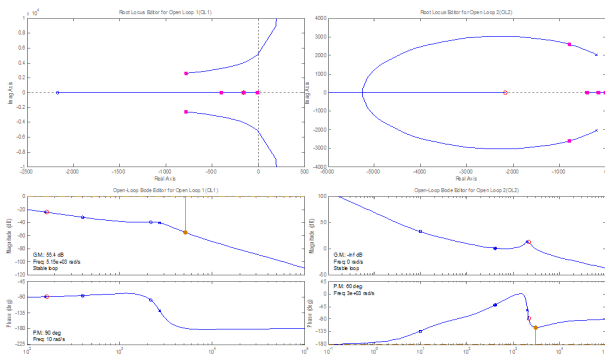


그림 5 Two Loop 제어기 보데 선도  
Fig. 5 Two Loop Controller bode plot

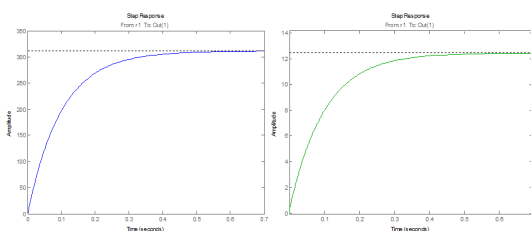


그림 4 Single Loop 전압(좌) / 전류(우) 단계 응답  
Fig. 4 Voltage(L) / Current(R) Step Response

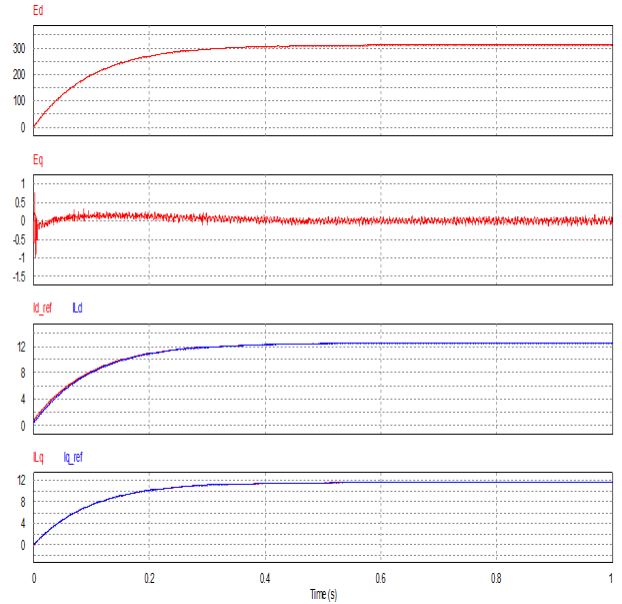


그림 6 PSIM 시뮬레이션 응답  
Fig. 6 Simulation Response of PSIM

표 1의 파라미터 값을 반영하여 Matlab SISOTOOL 기반의 Two Loop 제어기를 설계하였다. 전압제어기(C1)의 설계 기준을 차단 주파수 20[rad/s]와 위상여유90[deg]로, 전류제어기(C2)의 설계 기준을 차단 주파수 3,000[rad/s]와 위상여유 60[deg]로 설정하였다.

## 3. 결론

본 연구에서는 양방향 인버터의 Two Loop Controller 해석과 설계방법에 대해 제시하였으며, 실험을 통해 제안된 제어 기법이 설계 사양을 충족시키는 설계 방법임을 확인하였다. 향후 양방향 인버터에 보다 좋은 응답 특성을 가지는 제어기법에 대해서도 연구하고자 한다.

이 논문은 2018 한국교통대학교의 연구비 지원에 의하여 작성되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] J. I. Jang, D. C. Lee, D. and H. G. Kim, "Current Control of Three Phase PWM Converters under Unbalanced and Distorted Source Voltage," The Trans. of the KIPE, Vol. 12, No. 1, pp. 27-36, 2007.
- [2] M. T. Tsai, and W. I. Tsai, "Analysis and Design of Three Phase AC to DC Converters With High Power Factor and Near Optimum Feedforward," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 46, No. 3, June 1999.