

# 부스트 컨버터의 최적 제어기법 연구

황규일, 김일송  
한국교통대학교

## Study on the Optimal Control Method of the Boost Converter

Kyu Il Hwang, Il Song Kim  
Korea National university of Transportation

### ABSTRACT

본 연구에서는 전압승압형 컨버터로 동작하는 부스트 컨버터의 최적 제어기법에 대해 서술한다. 부스트 컨버터를 상태평균화 모델을 이용하여 전달함수를 구한 다음, Root Locus와 Bode Plot을 이용하여 시스템 요구사항(Requirement)을 만족시키는 제어기 설계 방법을 제안한다.

### 1. 서론

일반적인 시스템 설계 방법은 시스템 해석과 해석을 별도 수행하며, 하드웨어를 구성하여 전체 시스템을 검증하는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 시스템 설계 방식은 제품의 개발 주기가 빨라지며 기능이 복잡해지는 오늘날의 설계방식과 맞지 않다. 이에 전력전자 시스템을 해석하기 위해서는 다양한 종류의 톨들이 개발되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 Matlab SISO TOOL과 PSIM, 두 가지 톨을 사용하여 부스트 컨버터를 등가모델(On, Off) 상태공간 표현식과 상태평균화모델을 이용하여 전달함수를 구한 다음 Matlab SISO TOOL Root locus와 Bode Plot을 이용하여 시스템 요구사항을 만족시키는 전류제어기 설계에 대해서 서술한다.

### 2. 부스트 컨버터

반도체 스위치와 L, C와 같은 전기소자로 이루어진 컨버터를 수학적으로 모델링하는 가장 일반적인 방법이 상태 공간 평균화 모델을 이용하는 것이다. 부스트 컨버터에서 MOSFET 스위치가 ON일 때와 OFF일 때의 상태공간표현식을 이용하여 상태평균화모델을 유도한다.

#### 2.1 상태 공간 표현식

컨버터의 모델은 일반적으로 스위치 동작에 의하여 비선형 특성의 방정식이 유도된다. 유도한 방정식을 선형화하기 위하여 상태공간 표현식(State Space Representation)을 적용하여 시스템 변수 중 동적 특성을 내재한 변수를 선정한 후 인덕터, 캐패시터 개수에 따른 상태변수를 가지고 키르히호프의 KCL, KVL를 사용하여 1차 미분 방정식을 수식 (1), (2)와 같이 정립하였다.

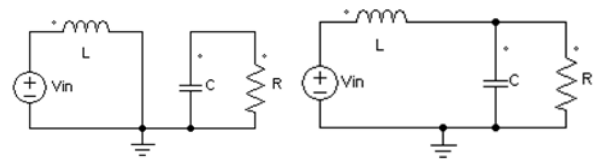


그림 1 On(좌) / Off(우) Time 등가회로  
Fig. 1 On(L) / Off(R) Time Equivalent Circuit

$$\begin{pmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_C}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (1)$$

$$= A_1 \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} + B_1 V_{in}$$

$$\begin{pmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_C}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (2)$$

$$= A_2 \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} + B_2 V_{in}$$

#### 2.2 상태 평균화 모델

상태 평균화 모델은 식 1, 2의 주기평균을 취하여 계산하면 식 3으로 표현된다. 이때 A가 상수가 아닌 입력d에 따라 변화한다.

$$\begin{pmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_C}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L}(1-d) \\ \frac{1}{C}(1-d) & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (3)$$

$$X = -A^{-1}BU \Rightarrow \begin{pmatrix} i_L \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{R(1-D)^2} \\ \frac{1}{1-D} \end{pmatrix} V_{in}$$

상태 평균화 모델을 이용하여 전류에 관련된 주파수 전달함수를 계산하면 식 4와 같다.

$$\frac{\hat{i}_L(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{V_C \left( s + \frac{1}{RC} + \frac{(1-D)L}{V_C \cdot C} \right)}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{(1-D)^2}{LC}} = G_1(s) \quad (4)$$

### 3. 시뮬레이션

표 1 부스트 컨버터 Two Loop 제어기 설계 회로 파라미터  
Table 1 Controller design circuit parameters

Parameters	Value	[Unit]
입력전압	260	[V]
D	0.2 ~ 0.8	
R	50 ~ 100	[ $\Omega$ ]
C	2,400	[ $\mu F$ ]
L	2.4	[mH]
스위칭 주파수	20	[kHz]

#### 3.1 Matlab SISO TOOL 시뮬레이션

표 1의 파라미터 값을 반영하여 Matlab SISOTOOL 기반의 Two Loop 제어기를 설계하였다. 전압제어기(C1)의 설계 기준을 차단 주파수 15[rad/s]와 위상여유90[deg]로, 전류제어기(C2)의 설계 기준을 차단 주파수 2000[rad/s]와 위상여유 60[deg]로 설정하였다.

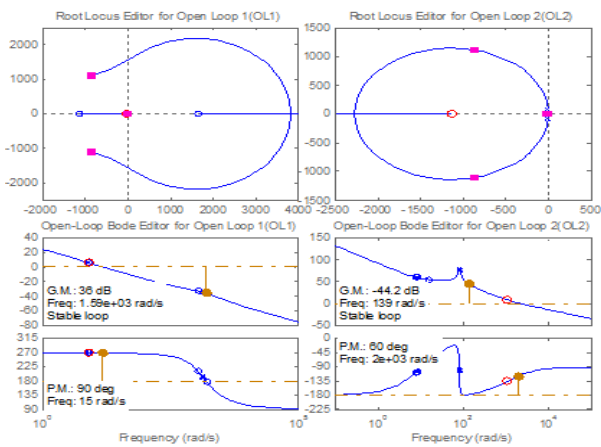


그림 2 Two Loop의 근궤적과 보데선도  
Fig. 2 Root Locus & Bode Plot of Two Loop

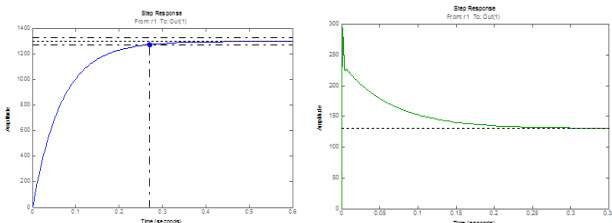


그림 3 전압(좌) / 전류(우) 단계 응답  
fig 3. Voltage(L) / Current(R) Step Response

#### 3.2 PSIM 시뮬레이션

그림 4는 3.1 Matlab SISO TOOL 시뮬레이션과 마찬가지로 표 1의 파라미터 값을 반영하여 PSIM 기반의 Two Loop 제어기를 설계한 것이다. 앞서 Matlab SISO TOOL을 통해서 구한 전압제어기 (C1)의  $IL_{ref} = IL_{ref\_old} + 0.1815 * V_{err} - 0.1815 * 0.99959 * V_{err\_old}$ ; 과 전류제어기 (C2)의  $V_{con} = V_{con\_old} + 0.0064 * IL_{err} - 0.0064 * 0.944 * IL_{err\_old}$ ; 의 값을 C Block에 입력하여 Run Simulation을 실행시키면 그림 5와 같은 결과를 나타낸다. 그림 3과 비교하여 전압과 전류에 대하여 동일한 결과를 나타내는 것을 확인하였다.

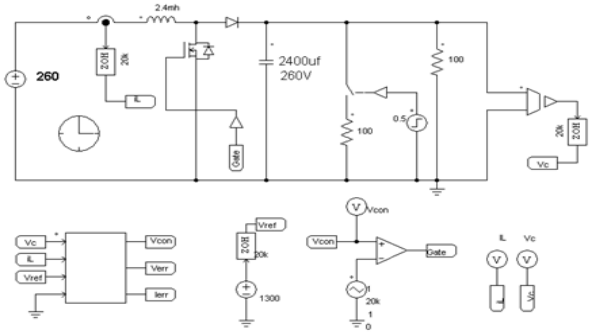


그림 4 PSIM 부스트 컨버터 Two Loop 제어기 설계  
fig 4. Boost Converter Two Loop Controller Design of PSIM

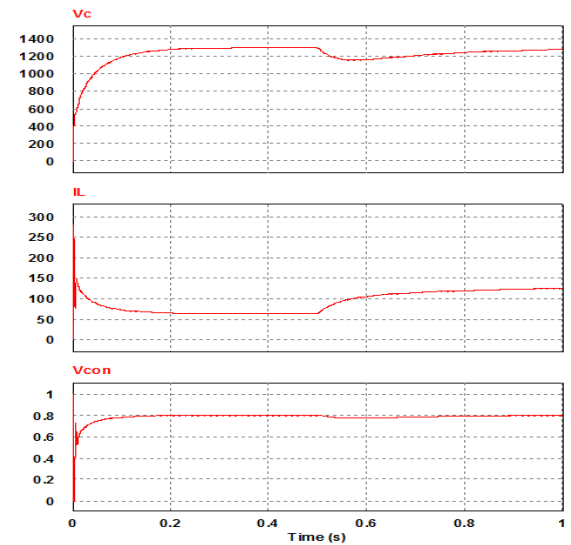


그림 5 PSIM 시뮬레이션 응답  
fig 5. Simulation Response of PSIM

### 3. 결론

본 연구에서는 부스트 컨버터의 상태평균화 모델을 이용하여 주파수영역의 설계 사양인 차단주파수와 위상여유를 만족시키는 제어기를 설계하는 과정을 나타내었다. 두 결과를 비교하였을 때 시간영역과 주파수 영역에서 설계된 제어기 전달함수는 동일함을 확인하였다. 따라서 본 연구결과는 보데선도로 실제 제품을 설계할 때 시간영역과 주파수영역의 응답특성을 만족시키는 좋은 설계 방법이 됨을 알 수 있었다. 향후 DC DC 컨버터에 대해 보다 높은 응답특성을 가지는 제어기법에 대해서도 연구하고자 한다.

이 논문은 산업통상자원부의 경제협력권 산업육성사업 지원으로 작성되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Mu Hyun Kim, Dea woong Chang, A Study on Design and analysis of DC DC converter using PSpice and simulunk Co simulation, JOURNAL OF POWER ELECTRONICS, 2011.7, 573 574 (2 pages)