

정 전압 출력을 갖는 벡-부스트 컨버터의 제이기 설계

(Controller Design of Buck-Boost Converter with Constant Voltage Output)

이우철*

(Woo-Cheol Lee)

Abstract

The Buck-Boost converter consisted of two switches is more expensive than the conventional Buck converter, because of the increase of the components. However, it can control the DC voltage depending on the requested load voltage without additional circuits, because it can control the voltage under the relatively wide range of the load. Additionally, it can control the output voltage constantly under the variation of the input voltage. In the paper two control loops consisted of current and voltage control are designed. When two controllers are operated at the same time the problem of the output voltage is occurred. Therefore, the solution of the output voltage problem is proposed. Finally, the validity of the proposed scheme is investigated with simulated and experimental results for a prototype system rated at 1kVA.

Key Words : Buck-Boost Converter, Voltage/Current Control Loop, Transfer Algorithm, Transient State

1. 서 론

2-스위치 Buck-Boost 컨버터는 기존에 사용된 Buck 컨버터에 비해 파워 소자들의 증가로 단가 상승이 있는 반면에 부하의 전압 정격 범위가 상대적으로 넓기 때문에 부하에서 필요로 하는 전압에 따라 새로운 전력변환 시스템의 교체 없이 제안된 DC 링크 전압 가변형 인버터 시스템에 적용할 수 있다[1-2]. 또한

Buck-Boost DC-DC 컨버터는 컨버터의 승, 강압 기능으로 인해 입력전압 범위가 넓고 입력전압의 전범위에서 고효율을 달성할 수 있다는 장점 때문에 많이 사용된다[3]. 절연형 Buck-Boost 컨버터의 대표적인 예로는 Flyback 컨버터가 있지만 Flyback 컨버터는 주로 소용량에만 사용될 수 있다는 단점이 있다[4]. 본 연구에서는 Buck-Boost 컨버터를 입력전압이 원하는 출력전압보다 높거나 낮게 변동되더라도 출력전압을 일정하게 제어하기 위한 응용분야에 사용하여 전류 제어, 전압제어의 2중 제어 루프를 갖는 Buck-Boost 제어를 설계한다. 또한 이때 각각의 Buck 이나 Boost 제어기는 동작 모드에 상관없이 항상 동작하게 되어 있다. 즉 Buck 모드에서는 Boost 제어기의 출력 값은 최저 값으로 제한되어 차단되고,

* Main author : Hankyong National University Dept. of Electrical Electronic & Control Engineering Professor, Institute for information technology convergence
Tel : 031-670-5323, Fax : 031-670-5329
E-mail : woocheol@hknu.ac.kr
Received : 2015. 6. 25
Accepted : 2015. 7. 22

Boost 모드에서는 Buck 제어기는 최대 값으로 제한되어 항상 On되어야 한다. 따라서 각각의 Buck, Boost 제어기는 출력 전압을 일정하게 제어하기 위해서 같이 동작을 한다고 할 수 있다[5]. 2가지 모드가 같이 동작할 때의 출력전압의 문제점에 대해서 알아보고 이에 대한 해결책을 제시한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

그림 1은 Buck, Boost 컨버터 시스템 구성도를 보여 준다. 전원 전압 정류부, 2개의 스위치를 이용한 Buck, Boost 컨버터부로 구성이 되어 있다. 본 시스템은 전원 전압이 가변이 되더라도 출력 전압을 일정하게 유지해야하는 응용분야를 위하여 설계를 하였다. 즉 전원 전압이 출력 전압보다 높을 때는 Buck 컨버터로 동작을 하고, 그 반대인 경우 Boost 컨버터로 동작을 하여 전원전압의 변동에 상관없이 일정 출력전압을 얻을 때 사용하고자 한다.

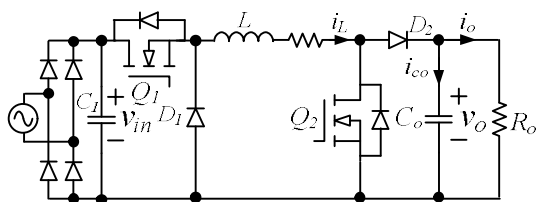
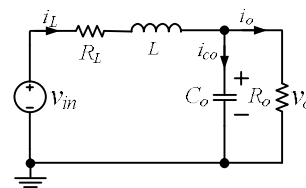


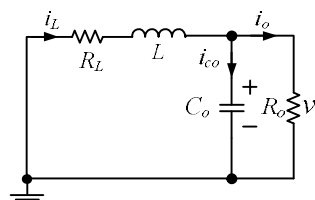
Fig. 1. System configuration of the buck-boost converter

2.2 Buck 컨버터 동작 모드시

그림 2는 Buck-Boost 컨버터가 Buck 모드로 동작될 때의 그림을 나타내고 있다. 그림 2 (a)와 같이 Buck 모드로 동작되는 구간에서는 “Boost 스위치” Q2는 항상 OFF되고, “Buck 스위치” Q1이 On/Off(PWM) 제어한다. 따라서 두 개의 스위치 중 Q1은 능동 스위치로 동작하고 Q2는 항상 OFF로 동작하는 Buck 모드의 경우 그림 2 (a)와 같이 Q1이 ON되



(a)



(b)

Fig. 2. Schematic diagram of Buck-Boost converter in buck mode operation

면 입력 전압은 Q1을 통해 인덕터로 에너지를 저장하고 Q1이 차단될 때는 그림 2 (b)와 같이 인덕터에 저장된 에너지는 다이오드 D1을 통하여 방전을 하게 되고 인덕터 전류 IL는 감소하게 된다. 그림 2 (a)는 Q1이 ON시 회로도상 방정식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다[6]. 이때 수식에 사용된 파라미터는 다음과 같다.

V_{in} , C_1 : DC 입력 전압, 정류용 커패시터

L , R_L : 벡/부스트용 인덕터, 권선 저항

C_o , R_o : 출력 커패시터, 부하저항

i_L , i_{co} , i_o : 인덕터 전류, 출력 커패시터전류, 부하전류

V_o : 출력전압

모드별로 스위칭 소자를 표시하면 표 1과 같다. Buck 모드로 동작시 스위치 Q1은 스위칭을 하게 되며 이때 Q2는 항상 턴 오프된다. Boost 모드로 동작시 스위치 Q2는 스위칭을 하게 되며 Q1은 항상 턴온된다.

Table 1. Status of the switch depending on the modes

Mode \ SW	Q1,	D1	Q2	D2
Buck 모드	스위칭	OFF	OFF	스위칭
부스트 모드	ON	스위칭	스위칭	스위칭

정 전압 출력을 갖는 벡-부스트 컨버터의 제어기 설계

$$V_{in} = L \frac{d}{dt} i_L + i_L R_L + v_o \quad (1)$$

$$i_L = i_{co} + i_o = C_o \frac{d}{dt} v_o + \frac{v_o}{R_o}$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in}$$

그림 2 (b)는 Q1이 OFF시 회로도이 이때 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$0 = L \frac{d}{dt} i_L + i_L R_L + v_o \quad (2)$$

$$i_L = i_{co} + i_o = C_o \frac{d}{dt} v_o + \frac{v_o}{R_o}$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in}$$

Buck, Boost 컨버터는 시간에 따라 변하는 비선형 시스템이다. 따라서 시변 시스템을 시간에 따라 변하지 않는 시스템으로 하기 위하여 평균화 작업(Averaging)이 필요하게 된다. 또한 비선형 시스템은 해석이 어렵고 제어기 설계가 어렵기 때문에 선형 모델로 근사화하여야 한다(Perturbation 작업). 따라서 다음의 작업을 통하여 LTI(Linear time invariant) 시스템으로 모델링을 하여야 한다.

먼저 시변 시스템을 시 불변 시스템으로 바꾸기 위하여 ON되었을 때 상태방정식에 D를 곱하게 되고 OFF되었을 때 D'를 곱하여 평균화 작업을 한다.

$$A = D \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} + D' \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix}$$

$$B = D \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + D' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

이때 컨버터의 동작 점은 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D \\ 0 \end{pmatrix} v_{in} \quad (4)$$

다음은 비선형 시스템을 선형 시스템으로 만들기 위하여 다음의 Perturbation 작업을 거치게 된다.

$$A_1 - A_2 = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$B_1 - B_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)U = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in} = \begin{pmatrix} v_{in} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -\frac{1}{R_o} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D \\ 0 \end{pmatrix} \hat{v}_{in} + \begin{pmatrix} v_{in} \\ 0 \end{pmatrix} \hat{d} \quad (8)$$

최종 소신호 모델과 출력 방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R_L}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C_o} & -\frac{1}{C_o R_o} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{D}{L} & \frac{v_{in}}{L} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{v}_{in} \\ \hat{d} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = (1 \ 0) \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + (1 \ 0) \begin{pmatrix} \hat{v}_{in} \\ \hat{d} \end{pmatrix} \quad (10)$$

제어기 설계 시 사용되는 시 비율에 대한 인덕터 전류, 시 비율에 대한 출력전압, 인덕터 전류에 대한 출력전압에 관한 관계식은 Matlab을 이용하여 구할 수 있다.

2.3 부스트 컨버터 동작 모드시

그림 3은 Buck-Boost 컨버터가 Boost 모드로 동작될 때의 그림을 나타내고 있다. Boost 모드로 동작되는 구간에서는 “Buck 스위치” Q1은 항상 ON 상태를 유지하고 “Boost 스위치” Q2가 On/Off(PWM) 동작한다. 또한 이때 다이오드 D1에는 역방향 바이어스가 인가되며 Boost 모드 상태에서는 항상 OFF로 운전하게 된다. 이는 전형적인 Boost 컨버터 형태로 볼 수 있으며, 시스템 해석도 Boost 컨버터와 동일하게 해석될 수 있다.

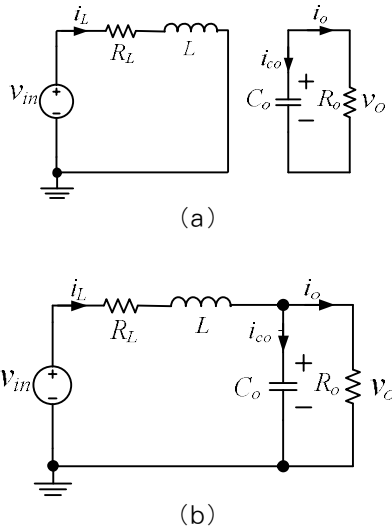


Fig. 3. Schematic diagram of Buck-Boost converter in boost mode operation

그림 3 (a)는 Q2가 ON시 회로도로 이때 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$V_{in} = L \frac{d}{dt} i_L + i_L R_L \quad (11)$$

$$i_{\omega} = C_o \frac{d}{dt} v_o = -i_o, i_o = \frac{v_o}{R_o}$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & 0 \\ 0 & -1/R_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in}$$

그림 3 (b)는 Q2가 OFF시 회로도로 이때 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$v_{in} = L \frac{d}{dt} i_L + i_L R_L + v_o \quad (12)$$

$$i_L = i_{\omega} + i_o = C_o \frac{d}{dt} v_o + \frac{v_o}{R_o}$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -1/R_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in}$$

Buck 컨버터의 모델링과 마찬가지로 평균화 작업(Averaging)과 선형 모델로 근사화하여야 한다

(Perturbation 작업). 따라서 다음의 작업을 통하여 LTI(Linear time invariant) 시스템으로 모델링을 하여야 한다.

먼저 시변 시스템을 시 불변 시스템으로 바꾸기 위하여 ON되었을 때 상태방정식에 D를 곱하게 되고 OFF되었을 때 D'를 곱하여 평균화작업을 한다.

$$A = D \begin{pmatrix} -R_L & 0 \\ 0 & -1/R_o \end{pmatrix} + D' \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -1/R_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L - D' & \\ & D' - 1/R_o \end{pmatrix}$$

$$B = D \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + D' \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

이때 컨버터의 동작 점은 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L - D' \\ D' - 1/R_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in} \quad (14)$$

다음은 비선형 시스템을 선형 시스템으로 만들기 위하여 다음의 Perturbation 작업을 거치게 된다.

$$A_1 - A_2 = \begin{pmatrix} -R_L & 0 \\ 0 & -1/R_o \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -R_L & -1 \\ 1 & -1/R_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$B_1 - B_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)U = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ v_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_o \\ -i_L \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C_o \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L - D' \\ D' - 1/R_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} v_{in} + \begin{pmatrix} v_o \\ -i_L \end{pmatrix} \hat{d} \quad (18)$$

최종 소신호 모델과 출력 방정식은 다음과 같이 유도가 된다.

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_L & -D' \\ D' & -1/R_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & v_o \\ 0 & -i_L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{v}_{in} \\ \hat{d} \end{pmatrix} \quad (19)$$

정 전압 출력을 갖는 벅-부스트 컨버터의 제어기 설계

$$\begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} = (1 \ 0) \begin{pmatrix} \hat{i}_L \\ \hat{v}_o \end{pmatrix} + (1 \ 0) \begin{pmatrix} \hat{v}_{in} \\ \hat{d} \end{pmatrix} \quad (20)$$

제어기 설계시 사용되는 시비율에 대한 인덕터 전류, 시비율에 대한 출력전압, 인덕터 전류에 대한 출력전압에 관한 관계식은 Matlab을 이용하여 구할 수 있다.

2.4 제어기 설계

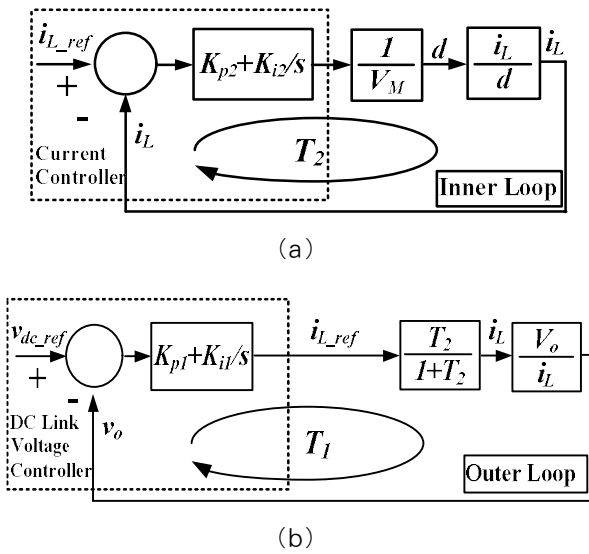


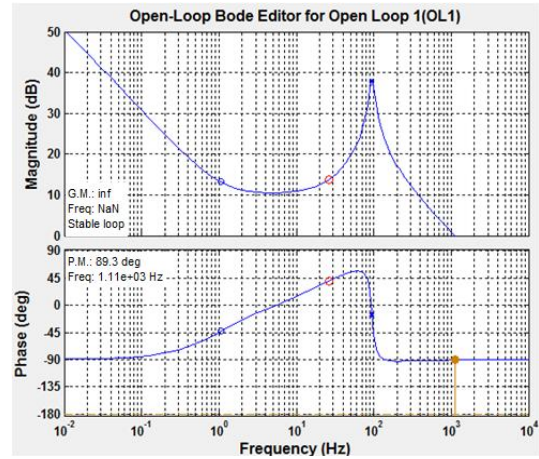
Fig. 4. Control block diagram

그림 4는 2개의 제어기 루프를 가지고 있는 제어 블록도를 보여준다[7]. 내측 제어기는 전류 제어기로 출력전류인 인덕터 전류가 전류 지령치를 추종하도록 제어를 한다. T_2 , T_1 은 내측/외측 제어기의 폐루프 이득을 나타낸다. 즉 $T_2 = (K_{p2} + K_{i2}/s) / V_M * (i_L/d)$, $T_1 = (K_{p1} + K_{i1}/s) * (T_2 / (1 + T_2)) * (V_o/i_L)$

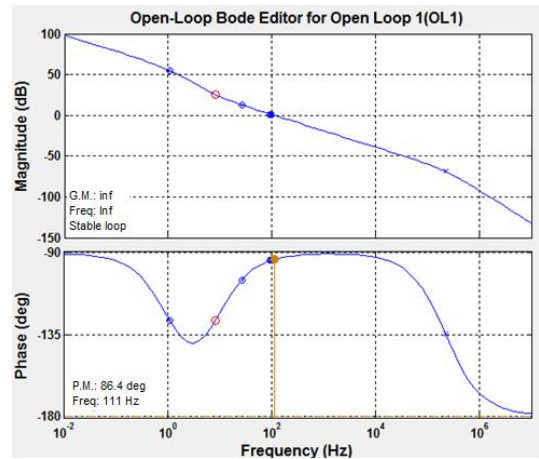
여기서 V_M 은 입력 DC 전압의 크기를 나타낸다. 외측 제어기는 내측 제어기를 포함하는 제어기로써 출력전압이 전압 지령치를 추종하도록 제어를 한다.

그림 5는 Buck 컨버터의 내측 외측 제어기에 대한 Matlab의 SISO 툴을 이용한 보드 선도를 보여준다. 적절한 게인 선택으로 충분한 위상 여유와 이득 여유가 있음을 보여준다. 즉 그림 5 (a)의 내측 루프에서는

위상 여유는 89.3°이고, 이득 여유는 무한대이다. 이때 PI 제어기의 값은 $K_{p2}=7.64$, $K_{i2}=1,253$ 이 된다. 그림 5 (b)의 외측 제어 루프에서는 위상 여유는 86.4°이고, 이득 여유는 무한대이다. 이때 PI 제어기의 값은 $K_{p1}=1.16$, $K_{i1}=58$ 이 된다.



(a)



(b)

Fig. 5. Bode plot of the buck converter controller

그림 6은 부스트 컨버터의 내측 외측 제어기에 대한 Matlab의 SISO 툴을 이용한 보드 선도를 보여준다. 적절한 게인 선택으로 충분한 위상 여유와 이득 여유가 있음을 보여준다. 즉 그림 6 (a)의 내측 루프에서는 위상 여유는 89.9°이고, 이득 여유는 무한대이다. 이때 PI 제어기의 값은 $K_{p2}=7.99$, $K_{i2}=726$ 이 된다. 그림 6

(b)의 외측 제어 루프에서는 위상 여유는 61.7°이고, 이득 여유는 20dB이다. 이때 PI 제어기 값은 $K_{p1}=5.65$, $K_{i1}=1,413$ 이 된다.

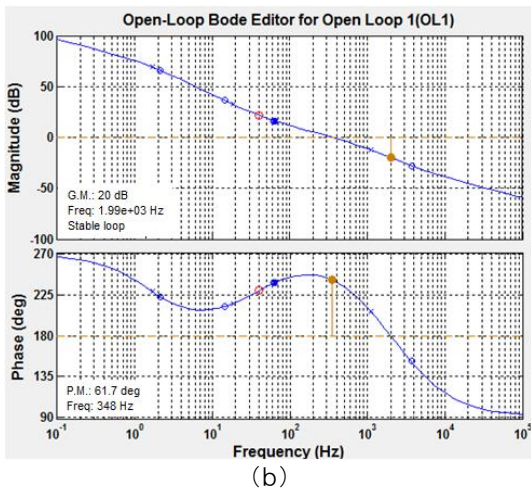
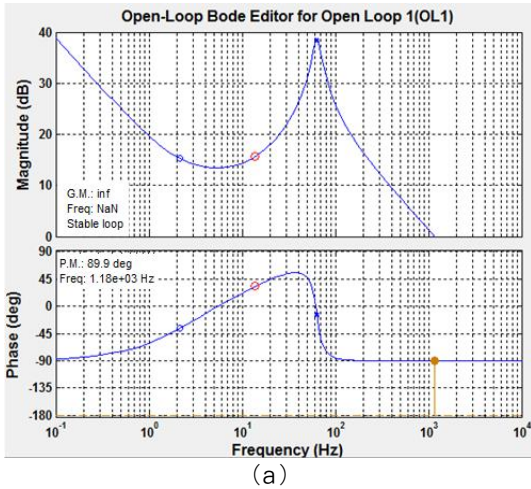


Fig. 6. Bode plot of the boost converter controller

2.5 모드 절체시 지령치

Buck-Boost 컨버터의 제어는 입력전압의 변동에 상관없이 항상 같이 동작한다. 따라서 어느 한 가지 모드로 동작하기 위해서는 Buck, Boost 컨버터의 전압 지령치의 차이를 두어야 한다. 즉 입력전압보다 출력전압이 낮을 경우 전압 제어 지령치를 똑같이 줄 경우 Buck, Boost 컨버터의 전압 에러가 존재하여 두 개

의 스위치가 같이 동작을 하게 된다. 따라서 부스트 컨버터의 지령치를 Buck 컨버터 지령치보다 낮게 주면 Buck 컨버터의 전압 에러는 +가 되고 Boost 컨버터의 전압 에러는 -가 되어 Boost 컨버터의 지령치는 음으로 되어 차단되게 되어 Boost 스위치는 오프하게 된다. 그러나 입력전압보다 출력전압이 높을 경우 Boost 모드로 동작하게 되는데 이때 Buck 컨버터의 지령치는 최대치로 되어 항상 동작하게 되나 Boost 컨버터의 지령치는 실제 값보다 낮게 설정되어 출력전압이 낮게 나오게 된다. 따라서 이를 보상하기 위해서는 모드에 따라 전압 지령치를 가변해야 한다. 지령치 전압의 차이인 V_{step} 은 출력전압 변동 범위에 비례하여 설정하면 된다. 아래의 그림은 입력전압과 출력전압 지령치를 비교하여 Buck, Boost 제어기의 지령치를 변경하여 출력전압을 일정하게 제어할 수 있는 흐름도를 보여준다.

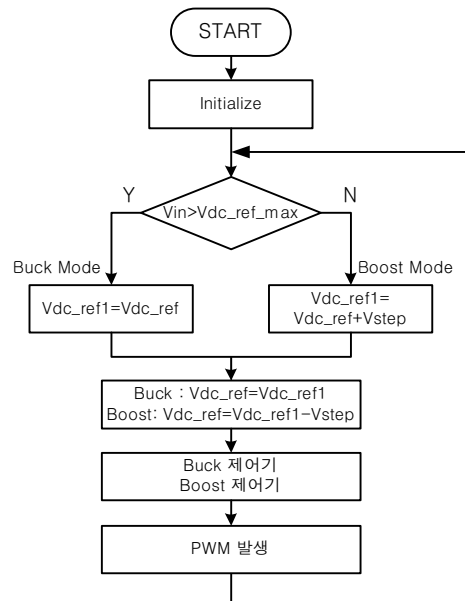


Fig. 7. Flow chart of the reference value when the mode transfer

표 2는 동작 모드에 따른 문제점을 표로 이용하여 제시하였다. 벡 또는 부스트 제어기가 같이 동작하기 위해서는 부스트 지령치를 실제 지령치보다 낮게 주어야 한다. 따라서 벡 동작시는 출력전압이 문제는 안

정 전압 출력을 갖는 벡-부스트 컨버터의 제어기 설계

되나 부스트 동작 시 출력전압이 저하하는 문제점이 발생된다. 따라서 동작 모드에 따라 그림 7과 같이 전압 지령치를 가변하여야 한다.

Table 2. Problems depending on the operation mode

	Buck Mode	Boost Mode
전압지령치	Buck지령치 : Vdc_ref Boost지령치 Vdc_ref-Vstep	
S/W 동작	Buck S/W(Q1) : PWM Boost S/W(Q2) : 차단	Buck S/W(Q1) : ON BoostS/W(Q2) : PWM
출력전압(V _o)	Vdc_ref	Vdc_ref-Vstep

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션 결과

Table 3. System parameters

Parameters	Value
입력전압(V _{in})	200V(Buck)/100V(Boost)
출력전압(V _o)	150Vdc
입력 커패시터(C ₁)	820μF
출력 커패시터(C ₂)	1,600μF
인덕터(L)	1.7mH
부하 저항(R ₀)	90Ω
정격	1kVA
스위칭주파수(fs)	15kHz

표 3은 시스템 파라미터를 보여준다. 입력 전압은 실험의 편의를 위하여 전원전압을 가변하는 대신 전원전압을 정류한 DC 전압을 가변하여 사용하였다. 즉 200V, 100V로 DC 입력전압을 가변하여 출력전압을 150V로 일정하게 제어되게 Buck, Boost 컨버터의 시뮬레이션, 실험을 수행하였다. 즉 입력 전압이 200V 일때 Buck 컨버터로 동작을 하여 출력전압을 150V로 일정하게 동작하고, 입력 전압이 100V일 경우 부스트 컨버터로 동작을 하여 출력전압을 150V로 일정하게 제어를 한다. 스위칭 주파수는 15kHz로 동작을 시켰다.

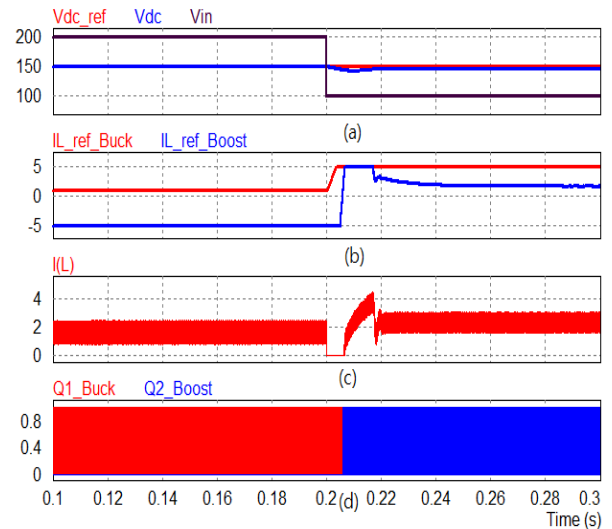


Fig. 8. Simulation results

그림 8은 시뮬레이션 결과로 그림 8 (a)는 입력전압과 출력전압 지령치와 출력전압을 보여주는 파형으로 입력전압이 200V일 때 Buck 컨버터로 동작을 하여 출력전압은 150V로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있고, 입력전압이 0.2초에 200V에서 100V로 변했을 때 부스트 컨버터로 동작을 하여 출력전압을 150V보다 약간 낮게 유지하는 것을 보여준다. 이는 Boost 컨버터의 지령치는 실제 값보다 낮게 설정되어 출력전압이 150V보다 낮게 나오게 된다. 그림 8 (b)의 경우 Buck, Boost 전류 지령치로 Buck 동작시 Buck 전류 지령치 약 1A를 보여주며 부스트 전류 지령치는 -5A를 보여주는데 이는 전류 제어기의 지령치를 $\pm 5A$ 로 제한을 두었기 때문이다. 따라서 부스트 컨버터는 동작을 하지 않게 된다. 입력전압이 변동시 약간의 과도상태를 거쳐 부스트 동작을 하게 되어 출력전압을 일정하게 유지한다. 이때 전류 지령치는 Buck 제어 지령치는 최대 5A로 Buck 스위치를 항상 턴온하게 된다. 반면 부스트 지령치는 약 2A로 Boost 스위치가 동작함을 알 수 있다. 그림 8 (c)는 인덕터 전류 파형을 보여주며, 입력전압이 변동시 과도상태를 보여준다. 그림 8 (d)는 Buck, Boost 게이트 파형을 보여준다. 입력전압이 200V시 Buck 스위치가 동작하며, 입력전압이 100V시 Boost 스위치가 동작을 한다.

3.2 실험 결과

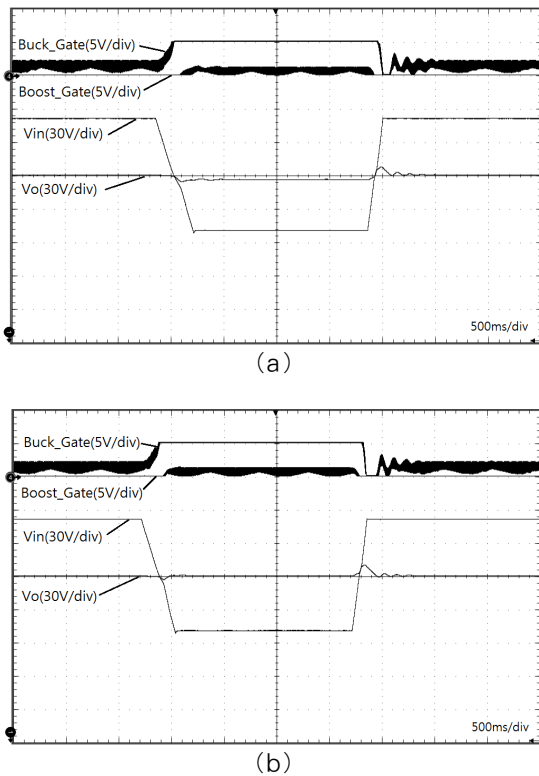


Fig. 9. Experimental results of mode transition

그림 9는 Buck 제어기와 Boost 제어기에서 모드 변환시 실험 파형이다. 그림 9 (a)는 모드 절체시 지령치 보상이 안된 경우로 입력 전압이 200V인 경우 Buck 컨버터로 동작을 하여 출력 전압을 150V로 제어하게 된다. 이때 Buck_Gate(Ch3)는 실제 전압 레벨 5V보다 작게 나오는데 이는 시간 스케일을 0.5sec/div로 줄여 볼 모드로 보기 때문에 제대로 표현이 안된다. 이때 Boost_Gate는 0V로 Boost 스위치는 차단상태에 있게 된다. 입력전압이 100V로 저하가 되면 Buck_Gate는 항상 턴온이 되고, Boost_Gate가 동작을 하게 된다. 이때 출력전압 Vdc가 약 5~6V가 줄어들게 된다. 그러나 그림 9 (b)에서 처럼 모드 절체시 지령치 보상이 이루어진 경우는 출력전압이 150V로 일정하게 제어됨을 알 수 있다. 두가지 모드가 같이 사용되었다는 것은 벡, 부스트 제어기가 항상 같이 동작한다는 것을 의미한다. 즉 벡 동작시 부스트 컨버

터의 제어기는 음으로 되어 차단되어 동작하고, 부스트로 동작시는 벡 컨버터의 제어기는 포화로 동작하게 된다.

4. 결론

Buck-Boost DC-DC 컨버터는 컨버터의 승, 강압 기능으로 인해 입력전압 범위가 넓고 입력전압의 전 범위에서 고효율을 달성할 수 있다는 장점 때문에 많이 사용된다. 본 연구에서는 Buck-Boost 컨버터를 입력전압이 원하는 출력전압보다 높거나 낮게 변동되더라도 출력 전압을 일정하게 제어하기 위한 응용분야에 사용하여 전류 제어, 전압제어의 2중 제어 루프를 갖는 Buck-Boost 제어기를 설계하였다. 또한 이때 각각의 Buck이나 Boost 제어기는 동작 모드에 상관없이 항상 Buck동작하게 되어 있다. Buck 모드에서는 Boost 제어기의 출력 값은 최저 값으로 제한되어 차단되고, Boost 모드에서는 Buck 제어기는 최대 값으로 제한되어 항상 On되게 되어야 한다. 이때 2가지 모드가 같이 동작할 때의 출력전압의 문제점에 대해서 알아보고 해결책을 제시하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
[No.2013R1A1A2064271]

References

- [1] F. Z. Peng, H. Li, G. J. Su, and J. S. Lawler, "A new ZVS bi-directional dc-dc converter for fuel cell and battery applications," IEEE Trans. Power Electron., vol.19, no. 1, pp. 54 - 65, Jan. 2004.
- [2] W. Jin, F. Z. Peng, J. Anderson et al., "Low cost fuel cell converter system for residential power generation," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 19, no. 5, pp. 1315-1322, 2004.
- [3] Fei Zhang, Jianping Xu, Haikun Yu, and Guohua Zhou, "Inductive Idling Boost Converter with Low Inductor Current-Ripple and Improved Dynamic Response for Power Factor Correction," in Proc. IEEE ECCE, pp.3210-3215, Sep. 2010.
- [4] S.-U. Seo, K.-J. Lee, R.-Y. Kim, D.-S. Hyun, "Improved Modeling and Control of Boost-Flyback Converter With High Step-Up Voltage Ratio," Transaction of the Korean

Institute of Power Electronics, vol. 17, no. 1, pp. 67-76, Feb. 2012.

- [5] C. Yoo, W.-C Lee, K.-C. Lee, B. H. Cho, "Transient current suppression scheme for bidirectional DC-DC converters in 42V automotive power systems," IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Austin, USA, Mar. 2005.
- [6] W. Jianhua, Z. Fanghua, G. Chauning, C. Ran, "Modeling and Analysis of a Buck/Boost Bidirectional Converter with Developed PWM Switch Model," in Proc. IEEE ECCE, pp.705-711, May. 2011.
- [7] J. G. Park, "Design of Buck-Boost DC-AC Inverter Using Microcontroller", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No. 10, pp. 45-51, Oct. 2009.
- [8] J. S. Won, J. W. Park, "A Study on Characteristic Analysis of Single-Stage High Frequency Resonant Inverter Link Type DC-DC Converter", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 20, No. 2, pp. 16-23, Feb. 2006.
- [9] J. D. Choi, S. J. Seonh, "The Current Control Methods Comparison of Boost Converter for Unity Power Factor", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 67-73, Aug. 1998.

◇ 저자소개 ◇



이우철 (李雨哲)

1964년 3월 24일생. 1987년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1989년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업. 1988~1998년 효성중공업 기술연구소 책임연구원. 1995~2001년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2007~2009년 Virginia Polytechnic Institute and State University USA Visiting Professor. 현재 한경대학교 전기전자제어공학과 교수. 2011년~현재 전력전자학회 학술위원.