

인덕터, 커패시터의 기생저항을 고려한 Buck Converter 해석 및 제어기 설계

이규민, 김일송
한국교통대학교

Buck Converter analysis and controller design considering parasitic resistance of inductor and capacitor

Kyu-Min Lee, Il-Song Kim
KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF TRANSPORTATION

ABSTRACT

본 연구는 인덕터, 커패시터의 기생저항을 고려한 Buck Converter의 회로 해석 및 Two Loop Control 방법의 제어기 설계를 제안한다. 일반적인 Buck Converter의 회로 및 제어기 설계에서는 인덕터, 커패시터의 기생저항의 값이 작아 0으로 간주한다. 본 논문에서는 인덕터와 커패시터의 기생저항을 고려한 회로를 수학적으로 해석한 뒤 Matlab SISOTOOL을 이용하여 전압 및 전류 제어기를 설계하고 PSIM을 통해 회로를 구성하여 시뮬레이션을 통해 검증함으로써 일반적인 설계보다 정확성을 가진 설계방법을 제안한다.

1. 서론

현재 많은 분야에서 DC/DC 컨버터가 사용되고 있으며 그에 따라 보다 정교한 제어의 필요성이 증가하고 있다. 벡 컨버터의 정교한 제어기를 설계하기 위해 인덕터와 커패시터의 기생저항을 회로에 추가시켜 모델링을 할 것이다.^[1]

모델링을 통해 전달함수를 구한 후 이를 바탕으로 Matlab SISOTOOL을 이용하여 TWO LOOP 제어기를 설계한 후 PSIM을 통해 제어기의 타당성을 검증할 것이다.

2. 본론

2.1 Buck converter 동작 모드별 모델링

벡 컨버터의 기생저항을 고려한 등가회로를 그림 (1)에 나타내었다. 모델링을 함에 있어 상태변수는 인덕터에 흐르는 전류 및 커패시터에 걸리는 전압이다.

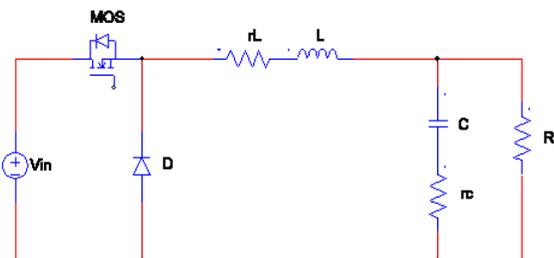


그림 1 기생저항을 고려한 벡 컨버터 등가회로
fig 1 Buck converter equivalent circuit considering parasitic resistance

2.1.1 Mosfet On / Diode Off시 modeling

그림 (2)은 Mosfet on / Diode off시 등가회로다. 회로에 키로히호프 전류, 전압 법칙을 적용하여 식 (1),(2)을 구할 수 있다. 이를 행렬로 정리하면 상태방정식 식 (3)을 얻을 수 있다.

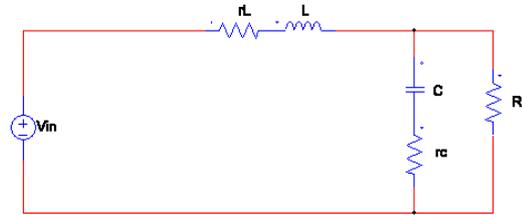


그림 2 Mosfet On / Diode Off 등가회로
fig 2 Mosfet On / Diode Off Equivalent Circuit

$$kvl [V_s = r_L I_L + L \dot{I}_L + V_0] \tag{1}$$

$$kcl [I_L = I_0 + c \dot{V}_C] \tag{2}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{L} \left(r_L + \frac{R r_c}{R + r_c} \right) & -\frac{R}{L(R + r_c)} \\ \frac{R}{C(R + r_c)} & -\frac{1}{C(R + r_c)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \tag{3}$$

2.1.2 Mosfet Off / Diode ON시 modeling

그림 (3)은 Mosfet off / Diode on 시 등가회로다. 회로에 키로히호프 전류, 전압 법칙을 적용하여 식 (4),(5)을 구할 수 있다. 이를 행렬로 정리하면 상태방정식 식 (6)을 얻을 수 있다.

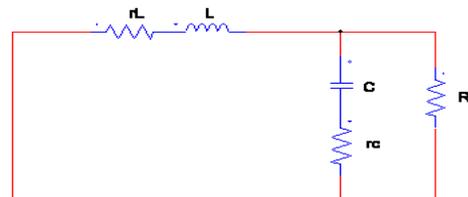


그림 3 Mosfet Off / Diode On 등가회로
fig 3 Mosfet Off / Diode On Equivalent Circuit

$$kvl [0 = r_L I_L + L \dot{I}_L + V_0] \tag{4}$$

$$kcl [I_L = I_0 + c \dot{V}_C] \tag{5}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{L}(r_L + \frac{Rr_c}{R+r_c}) & -\frac{R}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & -\frac{1}{C(R+r_c)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (6)$$

2.2 Buck converter 모델링 평균화 및 전달함수

2.2.1 모델링 평균화 및 출력 방정식

Mosfet on/off시 각각의 모델링을 평균화하기 위해서는 duty 비를 이용하면 된다. 본 논문에서는 duty비를 d로 간주한다. 식 (3)은 Mosfet이 On되는 구간이므로 d를 곱해주고 식 (6)은 Mosfet이 Off되는 구간이므로 1-d를 곱해준다. 이를 더 해주면 평균화가 된다. 식 (7)은 평균 상태방정식이다.

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{L}(r_L + \frac{Rr_c}{R+r_c}) & -\frac{R}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & -\frac{1}{C(R+r_c)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (7)$$

출력 방정식은 Two loop 제어를 위해 R에 걸리는 전압 V_o 및 L에 흐르는 전류 I_L 로 각각 방정식을 성립한다. 출력방정식은 아래 식 (8), (9) 와 같다. 본 논문에서 X는 상태변수를 나타낸다.

$$Y = CX = V_o = \begin{pmatrix} \frac{Rr_c}{R+r_c} & \frac{R}{R+r_c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_C \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$Y = CX = I_L = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_C \end{pmatrix} \quad (9)$$

2.2.2 전달함수

식 (7)을 라플라스 변환하여 시간 영역을 주파수영역으로 변경한 후 상태변수 X에 관하여 정리하였다. 전달함수는 전류 및 전압 출력방정식에 상태변수 X를 대입하여 구할 수 있다. 식 (10)은 듀티, 출력 전압비에 관한 전달함수이며 식 (11)은 듀티, 출력전류비의 전달함수다. 식(12)은 출력 전압, 전류비에 관한 전달함수다.

$$G_1 = \frac{\frac{V_{in}R(Cr_cS+1)}{LC(R+r_c)}}{S^2 + (\frac{1}{C(R+r_c)} + \frac{r_L}{L} + \frac{Rr_c}{L(R+r_c)})S + \frac{R+r_L}{LC(R+r_c)}} \quad (10)$$

$$G_2 = \frac{(S + \frac{1}{C(R+r_c)}) * \frac{V_{in}}{L}}{S^2 + (\frac{1}{C(R+r_c)} + \frac{r_L}{L} + \frac{Rr_c}{L(R+r_c)})S + \frac{R+r_L}{LC(R+r_c)}} \quad (11)$$

$$G_3 = \frac{\frac{R(Cr_cS+1)}{C(R+r_c)}}{(S + \frac{1}{C(R+r_c)})} \quad (12)$$

2.3 제어기 설계

Two loop 제어를 위해 Matlab SISOTOOL을 이용하여 전달함수 G_2 에 관한 PI 전류 제어기, G_3 에 관한 PI 전압 제어기를 설계하였으며 소자의 값은 아래 표 1과 같다. 그림 (4)는 벡 컨버터의 Two loop 제어기 출력전압 파형이다.

소자	값	rc	0.02Ω
Vin	100v	rL	0.01Ω
L	2mH	R	10Ω
C	500uF	d	0.4

표 1 벡 컨버터 소자 parameter
Table 1 Buck converter element parameter

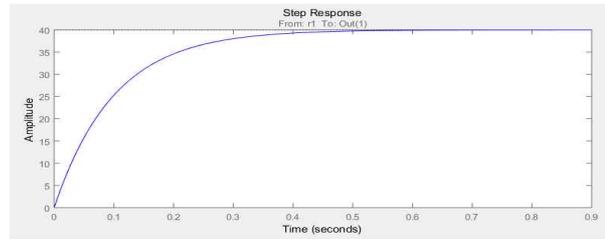


그림 4 Matlab SISOTOOL 출력전압 파형
fig 4 Matlab SISOTOOL output voltage waveform

2.4 시뮬레이션

시뮬레이션은 Psim을 사용하였으며 출력전압의 파형을 살펴 보았다. 그림(6)은 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

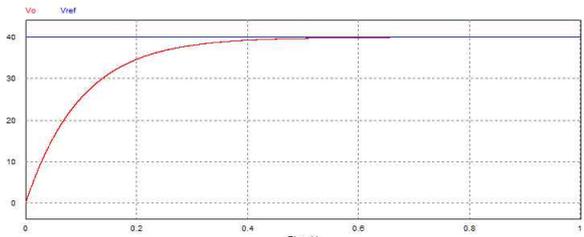


그림 5 psim 시뮬레이션 출력전압 파형
fig 5 psim output voltage waveform

3. 결론

본 논문에서는 인덕터, 커패시터의 기생저항을 고려한 벡 컨버터의 모델링을 통하여 Two loop제어기를 설계 하였으며 Matlab에서 나타내는 출력전압 파형과 Psim의 시뮬레이션 출력전압 파형이 일치함에 따라 제어기의 타당성을 입증 하였으며 추후 실험을 통해 검증할 계획이다.

이 논문은 2019 한국교통대학교 연구비 지원과 2019 한국연구재단 기초연구과제(2019014457) 지원으로 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] 장현웅, 이한빛, 정소영, 조성은, 조영훈, “벡 컨버터 소신호 모델링 분석 및 검증”, 전력전자학회 학술대회 논문집, 2018.7, 334 - 335(2 pages)