creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000242046

2011년 8월
교육학석사(기술 · 가정교육)학위논문

정전압 제어를 위한 벅컨버터 모델링 및 설계

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 창 화

정전압 제어를 위한
벅컨버터 모델링 및 설계

Modeling and Design of Buck Converter for Constant Voltage Control

2011年 8月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 창 화

정전압 제어를 위한
벅컨버터 모델링 및 설계

지도교수　조 금 배

이 논문을 교육학석사(기술 · 가정교육전공)학위
청구논문으로 제출함.

2011年 4月　日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

이 창 화

이창화의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 백 형 래 인

심사위원 조선대학교 교수 최 연 옥 인

심사위원 조선대학교 교수 조 금 배 인

2011年 6 月 日

조선대학교 교육대학원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론 1

II. 이론적 고찰 2

A. 연속전류모드의 DC-DC 컨버터 2

1. DC-DC 컨버터 2

2. 벅 컨버터의 구동원리 및 구조 4

3. 출력전압의 맥동 11

B. 불연속전류모드의 DC-DC 컨버터 13

C. DC-DC 컨버터 설계시 고려사항 17

III. 시뮬레이션 18

A. 시뮬레이션 18

B. 시뮬레이션 결과 고찰 21

IV. 실험 및 결과 24

A. 시스템 구성 24

1. 시스템 구성 24

2. 게이트 드라이브 26

B. DC-DC converter의 출력 특성 28

V. 결 론 30

Figures

Fig. 1 The basic DC-DC switching converter ····· 2

Fig. 2 The operating principle of the buck converter ····· 4

Fig. 3 Buck converter basic waveforms ····· 5

Fig. 4 Buck converter waveforms ····· 11

Fig. 5 Discontinuous current waveforms of the buck converter ·· 13

Fig. 6 Analysis's process of pspice ····· 20

Fig. 7 Buck DC-DC converter simulation waveforms ····· 22

Fig. 8 Output voltage by Input voltage 22[V] ····· 23

Fig. 9 Output voltage by Input voltage 18[V] ····· 23

Fig. 10 Buck DC-DC converter circuit ····· 24

Fig. 11 Buck converter system configuration ····· 25

Fig. 12 Square wave generating circuit ····· 26

Fig. 13 Differentiator circuit ····· 27

Fig. 14 Gate drive circuit ····· 27

Fig. 15 Buck converter input voltage & current ····· 28

Fig. 16 Buck converter output voltage & current ····· 29

Table

Table 1 DC-DC converter parameters 21

ABSTRACT

Modeling and Design of Buck Converter for Constant Voltage Control

By : Lee Chang Hwa
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Major in Technology and Home-Economics Education,
Graduate School of Education, Chosun University

Mankind since the industrial revolution has evolved over two centuries by the development of science and technology, mass production, due to large-scale development is currently benefiting the rich civilization. In many industrial applications, When the constant voltage DC power is supplied to the load changes to maintain the nominal value of DC voltage control is necessary. DC load is needed to efficiently convert constant voltage. It is a DC-DC converter.

The DC-DC buck converter is electronics device which converted high voltage to low voltage. The development of technology various electronic devices are widely used DC-DC buck converter using high frequency switching function the DC-DC buck converter is available in medium size and small size.

In this paper, analog method PWM circuit and the DC-DC buck

converter had been a design. Using the Pspice simulation tool made a DC-DC buck converter design, theoretical analysis experiments have been to make the actual converter design and the actual converter and simulation is compare the characteristics.

I. 서 론

인류는 산업혁명 이후 2세기 동안 발전을 거듭하여 과학과 기술의 발달에 의한 대량생산, 대규모개발 등으로 현재에는 풍요로운 문명혜택을 누리고 있다. 과학이 발달함에 따라 산업기술은 소형화, 경량화, 정밀화, 고효율화가 되고 있으며 이에 따라 산업계로부터의 요구도 점점 증가하고 있어 전력전자분야의 중요성도 부각되고 있다.

많은 산업응용 분야에서는 일정한 전압의 DC전원을 부하에 인가한 경우 부하 변동 시 정격 값을 유지하기 위해 DC 전압을 조정할 필요성이 있으며, DC-DC 전압을 효율적으로 변환하기 위하여 필요한 것이 DC-DC converter이다.[1]

DC-DC converter는 직류 전압을 크기가 다른 직류 전압으로 변환하는 전력전자회로이며 출력을 제어하는 전력 변환기기로 SMPS, 오디오 증폭기, 전자기기 및 통신시스템등에 사용되는 전원공급기로써 비선형 시스템이다. 이러한, DC-DC converter의 제어방식에는 크게 선형제어 방식과 스위칭 제어 방식으로 나눌 수 있다. 선형제어 방식은 입력 전압을 포함한 트랜지스터, IC등을 이용한 등가 가변 저항에 의해 가변시켜 입력 전압을 얻는 방식으로 전력 손실이 커서 효율이 낮다. 반면에 스위칭 제어방식은 반도체 스위칭 소자를 이용하여 ON, OFF를 통하여 출력전압을 제어하는 방식으로 평균 출력전압은 시비율을 가변시킴으로써 제어된다. 따라서, 선형제어 방식이 효율이 높고, 소형화가 가능한 장점을 갖고 있다. [2]

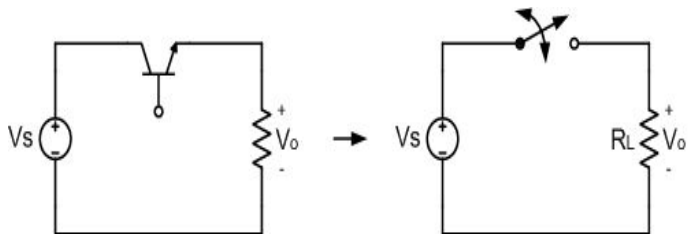
본 논문에서는 KA555 Timer을 이용하여 설계한 아날로그방식의 게이트 드라이브 회로와 Buck DC-DC converter를 설계하고, 이를 Pspice를 이용한 시뮬레이션과 실제 Buck DC-DC converter를 제작함으로써 이론적 해석과 실험을 통한 특성을 비교 분석하고자 한다.

II. 이론적 고찰

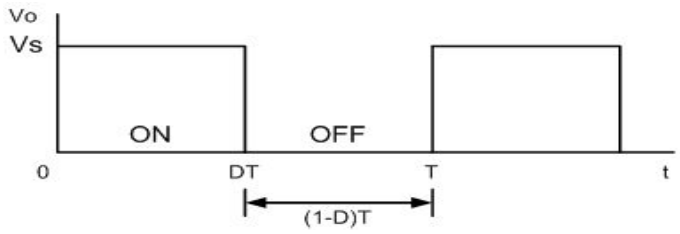
A. 연속전류모드의 DC-DC 컨버터

1. DC-DC 컨버터

DC-DC 컨버터는 임의의 DC 전압을 부하가 원하는 DC 전압으로 변환하는 전력변환장치이다. 이러한 전력변환장치는 선형제어방식과 SMPS 방식으로 분류할 수 있으며, 그림 1은 SMPS방식의 컨버터를 나타낸 것으로 트랜지스터를 스위치로 사용하여 스위치가 닫혀 있을 때 출력전압은 입력전압과 같고, 설정 시간 후 스위치가 열리게 되면 출력전압은 0이 되어 선형제어 방식에 비해 고효율의 특징이 있다. 스위치를 주기적으로 열고 닫으면 출력전압은 그림 1의 (b)와 같은 펄스 형태로 나타난다.[3]



(a) The equivalent switching



(b) Output Voltage

Fig. 1 The basic DC-DC switching converter

출력전압의 평균값 또는 직류성분은 다음 식(1)과 같다.

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^T v_o(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{DT} v_s dt = V_s D \tag{1}$$

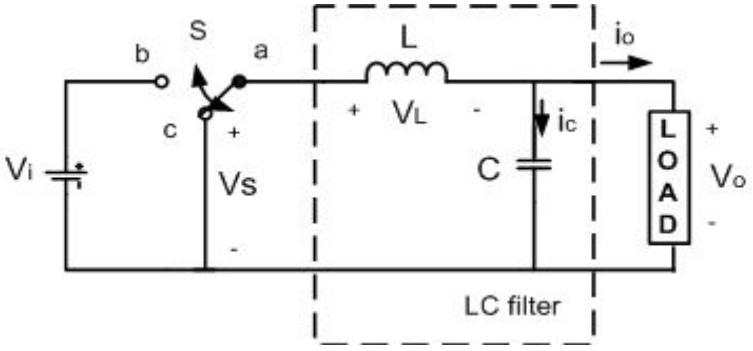
출력의 직류성분은 듀티비 D에 의해 제어되며, 듀티비는 다음 식(2)와 같이 주기에 대해 스위치가 닫혀있는 구간의 비율로 정의된다.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f \tag{2}$$

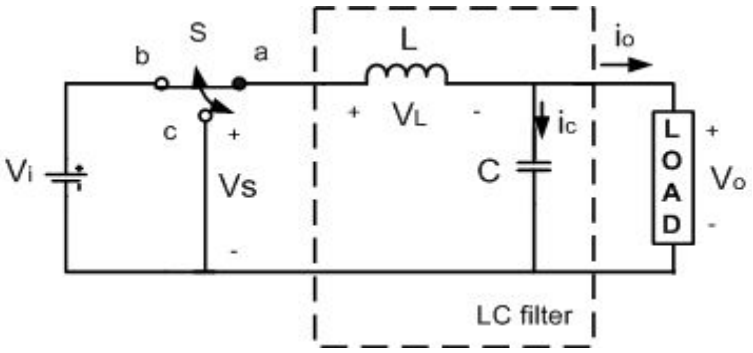
여기서 f는 스위칭 주파수이며, 이 회로에서 출력의 직류성분은 입력보다 작거나 같게 된다. 이상적인 스위치에서는 전력이 소모되지 않는다. 스위치가 열려있을 때 소자에는 전류가 흐르지 않으며, 스위치가 닫혀있을 때 소자 양단간에는 전압이 걸리지 않는다. 그러므로 모든 전력은 부하에서 소모되며, 에너지효율은 100%이다. 그러나 실제의 스위치에서는 손실이 발생하는데 그 이유는 스위치가 닫혀있을 때 소자 양단간의 전압이 0이 아니며 스위치가 온상태에서 오프상태로 바뀔 때 또는 오프상태에서 온상태로 바뀔 때 손실이 발생되는 선형 영역이 존재하기 때문이다.

2. 벅 컨버터의 구동원리 및 구조

기본적인 Buck DC-DC 컨버터는 출력전압이 입력전압보다 낮아지는 형태로 기본구성요소는 인덕터, 커패시터, 스위칭 소자로 이루어지며 스위칭 소자의 스위칭 동작을 통해 인덕터에 에너지를 저장, 방출하는 것에 의해 원하는 출력전압을 얻게되는 전력변환장치로 그림 2와 같으며, 2가지 모드로 동작된다.[4]



(a) $0 \le t < DT$

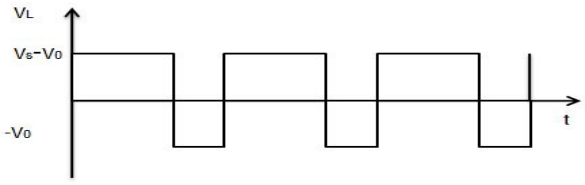


(b) $DT \le t < T$

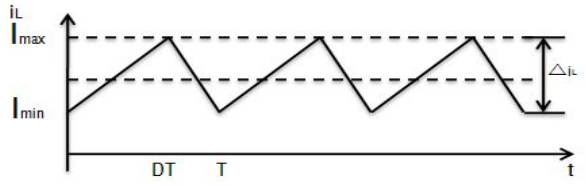
Fig. 2 The driving principle of the buck converter

인덕터는 스위치 S의 듀티비에 따라 전류의 증가와 감소가 반복되는데 인덕터 전류는 순간적으로 변할 수 없기 때문에 전류가 증가할 때는 인덕터 양단 전압이 양이되고 전류가 감소할 때는 인덕터 양단 전압이 음이된다. 스위치S가 스위칭 할 때 인덕터 전압, 인덕터 전류와 커패시터 전류 파형을 그림 3과 같이 나타낸다.

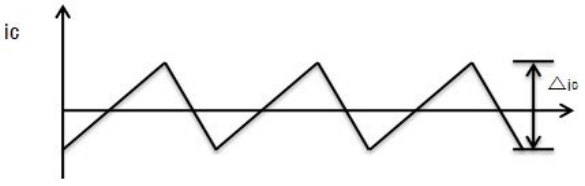
인덕터 전류 i_L에 대한 해석은 스위치가 열려있는 동안에는 전 구간에서 다이오드가 순방향 바이어스 상태임을 전제로 한 것으로서 인덕터 전류가 양의 값을 유지함을 의미한다. 스위칭 주기 내내 인덕터 전류가 양의 값을 유지하면 연속전류모드로 동작하고, 인덕터 전류가 0이 되는 구간이 존재하면 불연속전류모드로 동작한다.



(a) Inductor voltage



(b) Inductor current



(c) Capacitor current

Fig. 3 Buck converter basic waveforms

전류 상승 구간($0 \le t < DT$) 에서 스위칭 주기에 대하여 스위치가 접점 b에 연결되는 구간 동안 컨버터의 등가회로는 그림 2의 (a)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 다음 식 (2)과 같이 인덕터 전압을 구할 수 있다.

$$V_L = V_i - V_o \tag{3}$$

또한, 인덕터 전류 i_L 와 전압 V_L 의 관계는 식 (4)와 같다.

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{4}$$

식 (3)과 (4)에서 인덕터에 흐르는 전류의 기울기는 식 (5)와 같다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} \tag{5}$$

정상상태에서 출력전압 V_0는 입력전압 보다 작으므로 스위치가 입력전원과 연결되는 DT 구간 동안 인덕터 전류는 식 (5)의 기울기로 증가한다. 따라서 그림 2의 (a)와 같이 스위치가 접점 b에 연결되는 순간 (t=0) 인덕터 전류는 최소인 I_{min}이 되며, 스위치가 접점 b에 연결되고 DT 시간 후 (t=DT)에 최대인 I_{max}로 증가한다. 따라서 식 (5)에서 인덕터 전류는 식 (6)과 같다.

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_0^t (V_i - V_o)dt + I_{min} \tag{6}$$

또한 식 (6)에서 인덕터의 최대전류 I_{max}는 식 (7)과 같다.

$$i_L(DT) = I_{max} = \frac{1}{L}\int_0^{DT}(V_i - V_o)dt + I_{min} \quad (7)$$

여기서 출력전압의 리플성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거된 경우, 출력전압은 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (7)을 해석하면 DT 구간동안 인덕터 전류는 식 (8)과 같다.

$$I_{max} - I_{min} = \frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT \quad (8)$$

전류 하강 구간 ($DT \le t < T$)에서 스위치가 접점 c에 연결되는 (1-D)T 구간동안 컨버터의 등가회로는 그림 2의 (b)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 인덕터 전압을 구할 수 있다.

$$V_L = -V_o \quad (9)$$

인덕터 전류와 인덕터 전압과의 관계는 식 (4)와 동일하므로 식 (4)와 식 (9)에서 인덕터 전류의 기울기는 식 (10)과 같이 구해진다.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_o}{L} \quad (10)$$

정상상태에서 출력전압은 식 (10)의 조건을 만족해야 하므로 항상 0보다 크다. 따라서, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c와 연결되는 순간부터 (1-D)T구간동안 식 (10)의 기울기로 감소한다.

즉, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c에 연결되는 순간(t=DT) 최대인 I_{max}가 되며, (1-D)T 시간 후 (t=T)에 최소인 I_{min}으로 감소한다. 식

(10)에서 인덕터 전류 i_L은

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_{DT}^{t}(-v_0)dt + I_{max} \tag{11}$$

가 되므로, 인덕터 전류의 최소값 I_{min}은 식 (12)와 같이 구해진다.

$$I_{min} - I_{max} = \frac{-V_o}{L}(1-D)T \tag{12}$$

여기서, 출력전압은 전압 V_s의 교류성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거 되는 경우 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (12)의 적분식을 해석하면(1-D)T 구간 동안 인덕터 전류 i_L의 변동은 식 (13)과 같다.[5]

$$i_L(T) = I_{min} = \frac{1}{L}\int_{DT}^{t}(-V_o)dt + I_{max} \tag{13}$$

컨버터의 가변 출력 전압을 정전압 제어하기 위해 일반적으로 벅 컨버터의 듀티비 D의 범위는 0.48~0.53이며, 이 범위내에서 항상 정전압으로 제어되어야 한다.

그림 2의 (b)에서 인덕터 전류는 DT구간 동안 상승하고, (1-D)T 구간 동안 하강한다. 정상상태에서 전류의 상승과 하강 폭은 동일하므로 식 (6)와 식 (13)로부터 다음과 같이 출력전압의 평균값에 대한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT - \frac{V_o}{L} \cdot (1-D)T = 0 \tag{14}$$

식 (14)를 정리하면 출력전압 V_o는 식 (15)와 같다.

$$V_o = DV_i \tag{15}$$

따라서, 벅 변환기의 출력은 입력보다 낮거나 같다.

출력전압을 유도하는 또다른 방법은 그림 3의 (a)의 인덕터 전압을 이용하는 방법이다. 주기적인 동작에서 인덕터 전압의 평균값이 0이므로

$$V_L = (V_i - V_o)DT + (-V_o)(1-D)T = 0 \tag{16}$$

식 (16)이 성립하며, 이 식에서 V_o를 구하면 식 (15)과 같이 $V_o = DV_i$의 결과를 얻을 수 있다.

출력전압은 입력전압과 듀티비 D에만 관계됨에 유의하여야 한다. 만약 입력전압이 변동되면 듀티비를 적절히 조정하여 출력전압을 제어할 수 있다. 출력전압을 감지하고 이 값을 기준전압과 비교하여 스위치의 듀티비를 적절하게 설정하기 위해서는 궤환루프가 필요하다.

정상상태 동작에서 커패시터 전류의 평균값이 0이므로 인덕터 전류의 평균값은 식 (17)과 같다.[7]

$$I_L = I_R = \frac{V_0}{R} \tag{17}$$

그리고 인덕터 전류의 최대값은 식 (18)과 최소값은 식 (19)와 같다.

$$\begin{aligned} I_{max} &= I_L + \frac{\triangle i_L}{2} \\ &= \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2}[\frac{V_o}{L}(1-D)T] = V_o[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf}] \end{aligned} \tag{18}$$

$$\mathrm{I}_{\min} = I_L - \frac{\triangle i_L}{2} \tag{19}$$
$$= \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2}[\frac{V_o}{L}(1-D)T] = V_o[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}]$$

여기서 f = 1/T는 스위칭 주파수이다.

이상의 해석 결과를 사용하려면 인덕터에 흐르는 전류가 연속적임을 입증하여야 한다. 연속전류모드에서는 인덕터 전류의 최소값이 양이어야 하므로 식 (19)에서 최소값을 구해보면 전류의 연속 여부를 쉽게 알 수 있다. 회로에서 다이오드에 역방향 전류가 흐를 수 없으므로 식 (19)에서 구한 인덕터 전류의 최소값이 음의 값이면 불연속 전류모드이다.

식 (19)는 연속전류모드가 되기 위한 인덕턴스 L과 스위칭 주파수 f의 값을 결정하는데 사용된다. $\mathrm{I}_{\min} = 0$은 연속전류모드와 불연속전류모드 사이의 경계이기 때문에 Lf의 최소값을 구하면 식 (20)과 같다.[8]

$$\mathrm{I}_{\min} = 0 = V_o[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}] \tag{20}$$
$$(\mathrm{Lf})_{\min} = \frac{(1-D)R}{2}$$

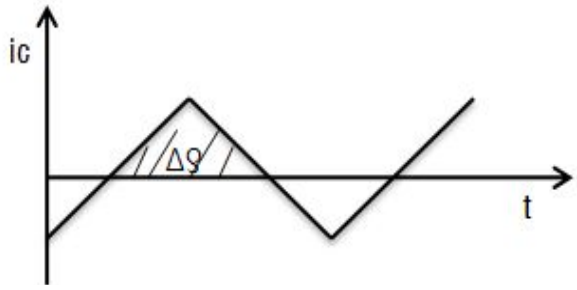
원하는 스위칭 주파수가 정해지면 인덕턴스 최소값은 식 (21)과 같다.

$$\mathrm{L}_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{21}$$

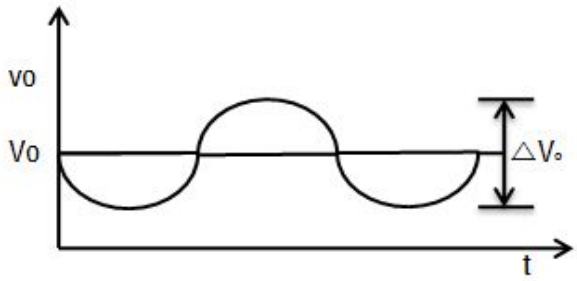
3. 출력전압의 맥동

커패시터가 매우 크다고 가정할 경우 이론적으로 출력전압이 일정하게 유지되지만, 실제에 있어서는 커패시턴스 값이 유한하므로 출력전압이 완전하게 일정한 값을 유지할 수는 없다. 출력전압의 변동, 즉 맥동은 커패시터의 전압전류관계로부터 구할 수 있다. 커패시터에 흐르는 전류는 식 (22)와 같으며 그림 4의 (a)와 같이 된다.

$$i_c = i_L - i_o \tag{22}$$



(a) Capacitor current



(b) Capacitor ripple voltage

Fig. 4 Buck converter waveforms

커패시터 전류가 양의 값인 한 커패시턴스는 충전된다. 커시턴스의 정의로부터 전하의 변화량이 시간축 윗부분에 있는 삼각형의 면적이 되므로 출력 전압의 리플성분은 식 (23)과 같다.

$$\triangle V_o = \frac{T \triangle i_L}{8C} \tag{23}$$

스위치가 열려있는 동안의 인덕터 전류가 변화하는 식 (24)와 같다.

$$(\triangle i_L)open = -(\frac{V_o}{L})(1-D)T \tag{24}$$

식 (23)을 대입하면 출력전압의 리플성분은 식 (25)와 같다.

$$\triangle V_o = \frac{T V_o}{8CL}(1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2} \tag{25}$$

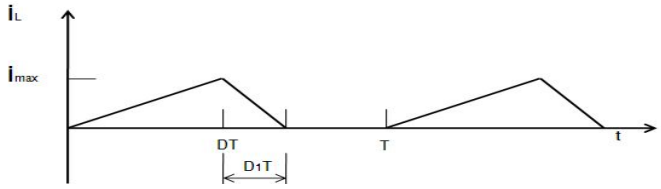
위 식에서 $\triangle V_o$는 출력에서의 첨두대 첨두 맥동전압으로서 그림 4의 (b)와 같다. 또한 맥동전압을 출력전압의 비율로 나타내며, 식 (26)과 같다.

$$\frac{\triangle V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \tag{26}$$

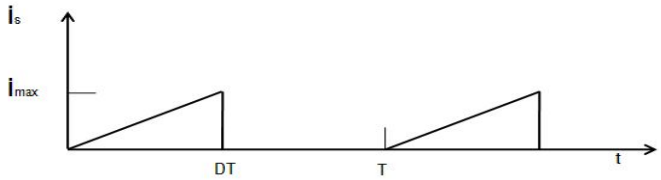
만약 맥동이 크지 않다면 출력이 일정하다는 앞서의 가정은 타당하며, 따라서 앞서의 해석결과를 사용할 수 있다. 또한, 전력변환기가 이상적이라고 가정하였으므로 전원에서 공급한 전력은 부하저항에서 소모된 전력과 같아야 한다.

B. 불연속전류 모드의 DC-DC 컨버터

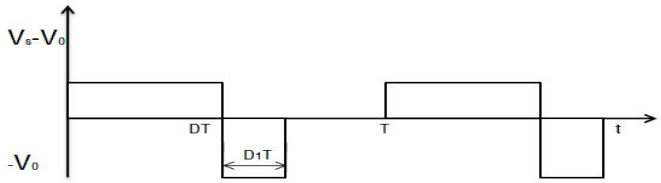
Buck DC-DC converter는 인덕터에 흐르는 전류파형에 연속 전류 모드와 불연속전류 모드로 나눌 수 있다. 앞절에서 설명한 내용은 일반적으로 정상적으로 동작하고 있는 연속전류모드일 때를 가정한 것이고 부하저항이 크거나 인덕턴스가 작을 경우에는 불연속전류 모드로 동작하게 되며 전압 상승 현상이 나타나게 된다.[9] 불연속 전류모드에서는 다른 방식의 해석이 필요하다. 그림 5는 불연속 전류모드의 Buck Converter의 파형을 나타내고 있다.



(a) Inductance Current



(b) Input Current



(c) Inductance Voltage

Fig. 5 Discontinuous current waveforms of the buck converter

출력전압과 입력전압 사이의 관계는 주기적인 동작에서 인덕터의 평균전압이 0이라는 사실로부터 구할 수 있다. 그림 5의 (c)에 나타낸 인덕터 전압은 식 (27)과 같다.

$$(V_s - V_o)DT - V_o D_1 T = 0 \tag{27}$$

$$(V_s - V_o)D = V_o D_1$$

식 (27)을 정리하면 입출력 전압은 식 (28)과 같다.

$$\frac{V_o}{V_s} = V_s\left(\frac{D}{D + D_1}\right) \tag{28}$$

또한, 커패시터의 평균전류가 0이므로 인덕터의 평균전류는 저항의 평균값과 같다. 출력전압이 일정하다고 가정하면 식 (29)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R} \tag{29}$$

그림 5로부터 인덕터의 평균전류를 계산하면 식 (30)과 같다.

$$I_L = \frac{1}{T}\left(\frac{1}{2}I_{max}DT + \frac{1}{2}I_{max}D_1T\right) = \frac{1}{2}I_{max}(D + D_1) \tag{30}$$

식 (29)와 식 (30)으로부터 식 (31)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{2}I_{max}(D + D_1) = \frac{V_o}{R} \tag{31}$$

인덕터 전류가 0에서 시작하기 때문에 최대전류는 스위치가 닫혀 있을 동안의 전류 변화량과 같다. 스위치가 닫혀 있을때의 인덕터 전압은 다음 식 (32)와 같다.

$$V_L = V_s - V_o \tag{32}$$

또한, 인덕터전류의 변화량은 식 (33)과 같다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} = \frac{\triangle i_L}{\triangle t} = \frac{\triangle i_L}{DT} = \frac{I_{max}}{DT} \tag{33}$$

식 (33)에서 구한 I_{max}를 식 (27)에 대입하면 식 (34)와 같다.

$$I_{max} = \triangle i_L = (\frac{V_s - V_o}{L})DT = \frac{V_o D_1 T}{L} \tag{34}$$

식 (34)을 식 (31)의 I_{max}에 대입하면 식 (35)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{2}I_{max} = (D + D_1) = \frac{1}{2}(\frac{V_o D_1 T}{L})(D + D_1) = \frac{V_o}{R} \tag{35}$$

식 (36)을 얻는다.

$$D_1^2 + DD_1 - \frac{2L}{RT} = 0 \tag{36}$$

따라서, D_1값을 구하면 다음 식 (37)과 같다.

$$D_1 = \frac{-D + \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2} \tag{37}$$

식 (28)에 D_1을 대입하면 입출력전압관계는 식 (38)과 같다.

$D_1 = 1 - D$일 때가 연속전류와 불연속전류의 경계이다. 식 (19)의 $I_{min} = 0$도 연속전류와 불연속전류의 경계조건이다.

$$V_o = V_s\left(\frac{D}{D + D_1}\right) = V_s\left[\frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}\right] \tag{38}$$

C. DC-DC 컨버터 설계시 고려사항

대부분의 Buck DC-DC converter는 연속전류로 동작하도록 설계된다. 전류가 연속이기 위한 스위칭 주파수 및 인덕터의 값은 식 (20)을 이용하여 선정할 수 있으며, 출력맥동은 식 (23)과 같다. 스위칭 주파수가 증가하면 연속전류이기 위한 인덕터의 최소값과 출력맥동을 제한하기 위한 커패시터의 최소값은 모두 감소한다. 그러므로 스위칭 주파수를 높게 하면 인덕터와 커패시터의 크기를 감소시킬 수 있다.

하지만 스위칭주파수가 높아지면 스위치에서의 전력손실이 증가한다. 스위치에서 전력손실이 증가하면 변환기의 효율이 낮아지며, 또한 트랜지스터 스위치에 부착하는 방열판이 커져서 인덕터와 커패시터의 크기 감소가 무의미해진다. 따라서 스위칭주파수를 무작정 높힐 수는 없다. 수백 kHz의 주파수가 사용되기도 하지만 일반적으로 스위칭 주파수는 20kHz~50kHz범위이다. 스위칭 소자의 특성이 개선됨에 따라 스위칭 주파수는 점점 더 높아질 것이다.

인덕터 권선의 전류정격은 실효값으로 정의되어야 하며 코어는 인덕터 전류의 첨두값에서 포화되지 않아야 한다. 커패시터는 출력 맥동을 설계명세에 규정되어 있는 값 이내로 제한할 수 있고 출력전압의 첨두값에서도 견디며 필요한 실효값 전류를 흘릴 수 있는 것으로 선정하여야 한다.

스위치와 다이오드는 오프상태일 때의 최대 전압 스트레스를 견딜 수 있어야 하고 온 상태일 때 최대 전류를 흘릴 수 있어야 한다. 온도 정격을 초과하지 말아야 하며 필요시에는 방열판을 부착해야 한다.[10] Buck DC-DC converter의 효율은 입력에 대한 출력비로 정의되며 그 차이는 converter의 여러 가지 손실에 의하여 열로 소모된다. 따라서 인덕터의 DC 저항 손실, MOS 스위치의 온 저항손실의 MOS스위치의 gate-Charge손실, 정류기도통 손실, MOS 스위치의 스위치 손실이나 PWM Control IC 손실 등을 고려해야 한다.

III. 시뮬레이션

A. 시뮬레이션

전기, 전자 및 디지털 회로 등을 설계할 경우에는 회로 특성을 평가할 수 있는 정확한 방법이 필수적이다. 이러한 회로를 직접 제작하여 실험할 수도 있지만, 이렇게 할 경우 회로구성 및 특성해석에 많은 시간과 계측 장비 및 경비가 필요하기 때문에 실제로 회로를 제작하기 전에 컴퓨터를 이용하여 계산하고, 측정, 평가하는 과정을 거치는 것이 현재 회로설계 및 제작 시에 반드시 필요한 필수적인 사항이 되었으며, 시간과 오차를 줄이는 효과를 얻을 수 있게 되었다. 이러한 과정을 컴퓨터 시뮬레이션이라 한다. [11]

PSpice는 컴퓨터를 이용하여 전기, 전자, 디지털회로의 해석 및 설계를 위해 개발한 시뮬레이션 프로그램이다. PSpice의 개발에 의해 트랜지스터의 동작점, 과도 특성 해석 및 주파수응답해석 등의 전기, 전자회로에 대한 복잡하고 다양한 해석이 가능케 되었고, 모든 회로에 공통으로 사용하는 저항, 콘덴서, 인덕터 등의 수동소자와 다이오드, 트랜지스터, FET 등의 능동소자에 대한 모델을 자료화함으로써 거의 모든 회로에 대한 시뮬레이션을 손쉽게 수행할 수 있게 되었으며, 시뮬레이션을 수행하고자 하는 회로를 단지 그림으로 그려서 처리하는 GUI 기능이 첨가되면서 초보자도 쉽게 접근할 수 있게 되었다. 이로 인하여 산업계에서 회로설계 검증용으로, 고교, 대학 등 교육기관의 교육용으로 폭넓게 사용하고 있다.

PSpice를 이용한 회로의 작성 및 시뮬레이션은 Capture를 이용한 회로의 작성부터 시작한다. 즉 Capture의 도구를 이용하여 부품을 입력하거나 기존의 회로로부터 수정작업을 통해 시뮬레이션 할 회로를 작성한다. Capture를 이용한 회로작성은 도면작성과 PCB 등의 작업을 위한 것

과 시뮬레이션용 PSpice A/D구동을 위한 것으로 구분된다. Capture에서의 회로해석은 회로의 설계와 작업 환경의 설정으로부터 시작한다. 설계 환경은 Design Template와 Design Properties의 설정에 의해 글자체, 제목 불럭, 페이지 크기, 그리드 참조, 계층구조 등을 지정한다. 작업 환경의 설정은 색상, 그리드 표시 여부, 팬과줌, 선택 버튼, 기타 등의 작업에 관련된 환경을 설정하고, 설계와 작업환경을 설정한 후, 회로도 작성 도구를 사용하여 회로도면을 그린다. 회로도 작성에는 반드시 시뮬레이션을 위한 PSpice Library 부품을 사용하여 부품 및 배선을 통해 작성하고, 회로도를 작성한 후, 각 부품 참조가 유일할 수 있도록 부품조를 갱신하며 각 부품 및 네트의 속성을 변경한다. 또 설계가 기초 설계와 전기 규칙에 부합한지의 여부를 Design Rule Check를 통해 검증한다. 설계 검증을 통해 에러를 찾아 수정하며 에러가 더 이상 생기지 않을 때, Capture 출력을 통해 PCB, PSpice등과 다른 EDA 툴과 정보를 교환할 수 있다. Capture 출력은 프린트로 인쇄하여 보관할 수 있고 Netlist를 작성하여 다른 EDA 툴과 정보를 교환할 수 있다. 또 각 부품에 대한 목록을 위해 BOM(Bill of Material)을 작성하고 모든 부품 또는 부품 참조와 부품 값을 포함하는 목록을 위해 교차 참조 목록을 작성하고, Netlist 작성으로 PSpice A/D 부분으로 이동하고 PSpice A/D는 아날로그 회로, 디지털 회로, 아날로그/디지털 혼합회로에 대한 시뮬레이션을 수행하며 오류에 대해서는 Capture의 그리기를 통해 수정이 가능하다. [12]
그림 6은 PSpice의 해석 수행과정을 나타낸 것이다.

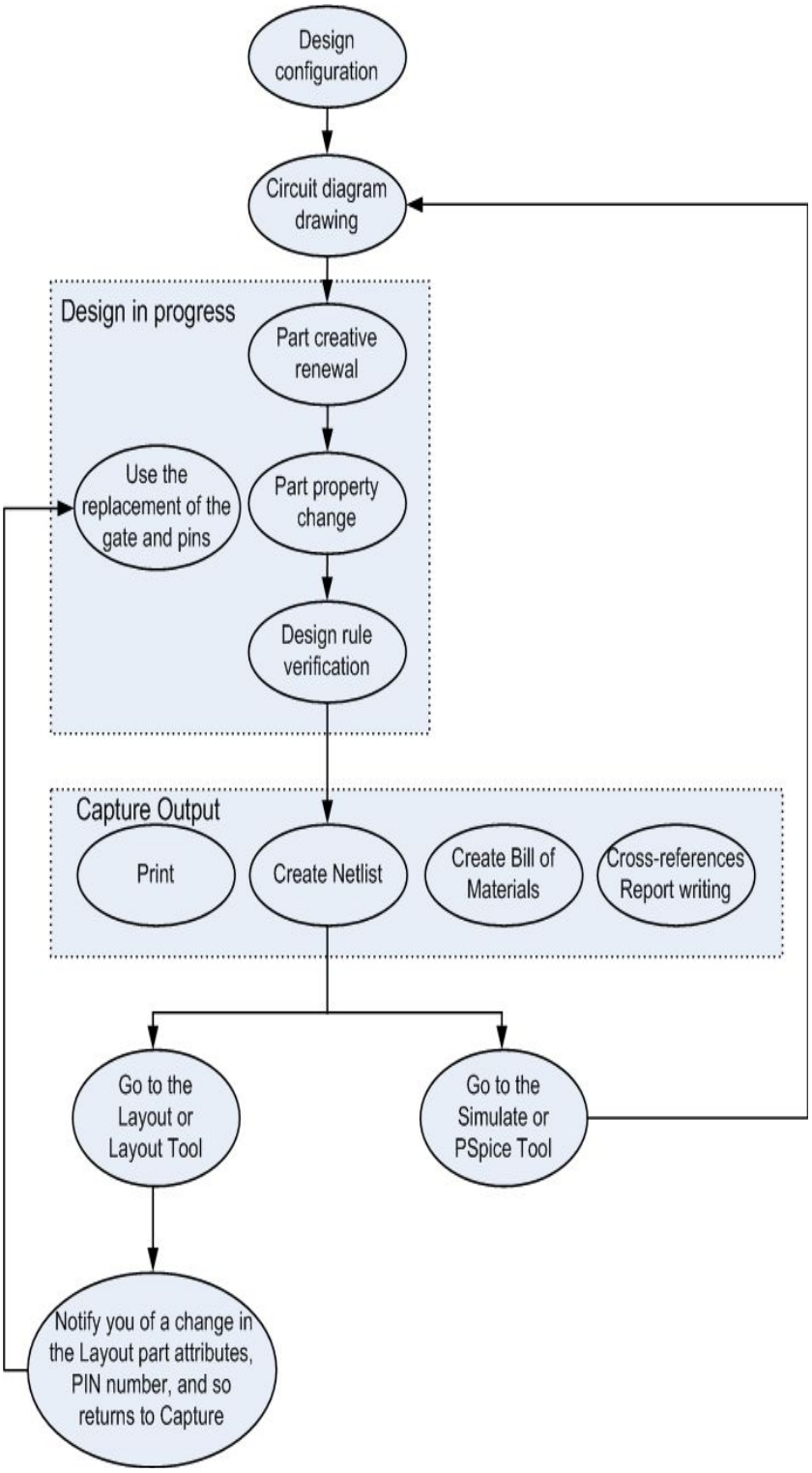


Fig. 6 Analysis's process of PSpice

B. 시뮬레이션 결과 고찰

인덕터 L과 커패시터 C의 용량은 출력전압, 전류의 리플에 영향을 주지만 회로의 소형화를 위하여 적정용량을 설정하여야 한다. L과 C의 용량을 소형화시키는 방법으로는 주파수 f를 크게 하여 L과 C의 용량을 줄이는 방법을 택할 수 있다. 하지만 컨버터에서 스위칭 주파수가 너무 높으면 스위칭시 발생하는 손실이 그에 비례하여 커지게 되고 손실은 열로 발생하여 방열판의 크기가 커져서 인덕터와 커패시터의 크기 감소가 무의미해지므로, 20kHz에서 50kHz로 설정 하는 것이 일반적이며 본 논문에서는 20kHz로 하였다. 표 1은 설계된 Buck converter의 시뮬레이션 Parameters를 나타낸다.

Table 1 DC-DC buck converter simulation parameters

Parameters	Symbol	Value
Input Voltage	Vin	20[V]
Output Voltage	Vo	12[V]
Switching Frequency	f	20[kHz]
Duty Cycle	D	0.6
Inductance	L	100[uH]
Capacitance	C	220[uF]

설계된 Parameters값으로 PSpice simulation tool을 이용하여 Buck converter를 설계하여 입력전압과 출력전압 및 전류 파형을 나타내었다. 그림 7은 설계된 Buck converter의 시뮬레이션 파형이다. 제작된 Buck converter은 KA555 timer로 구성된 PWM제어 회로를 통해 IRFZ44N에 신호가 입력되고 설정된 듀티비에 의해 출력전압 12[V], 출력 전류 1.5[A]가 측정됨을 알 수 있었다. 그림 8과 그림 9는 입력전압을 22[V], 18[V]로 가변하였을 경우의 파형을 나타낸 것이다.

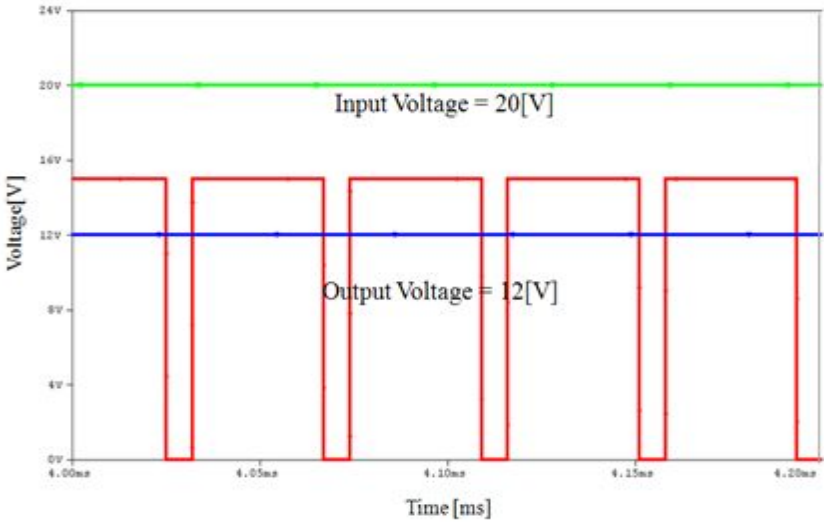


Fig. 7 Buck DC-DC converter simulation waveforms

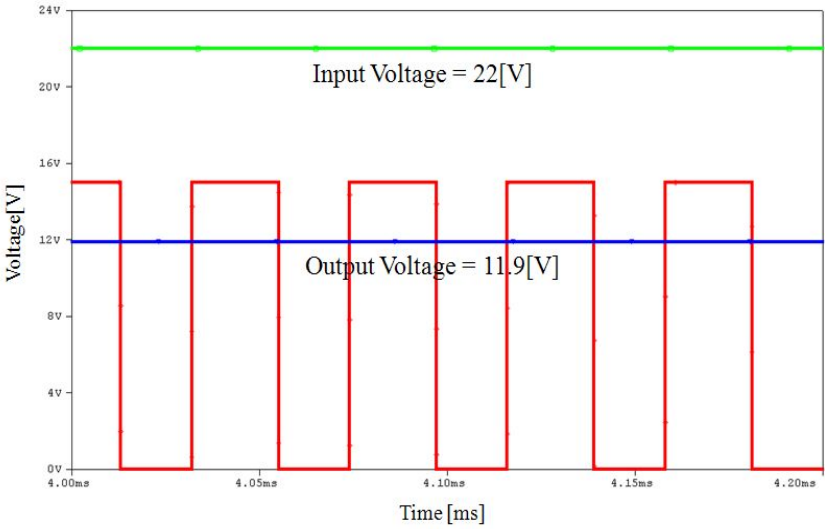


Fig. 8 Output voltage by Input voltage 22[V]

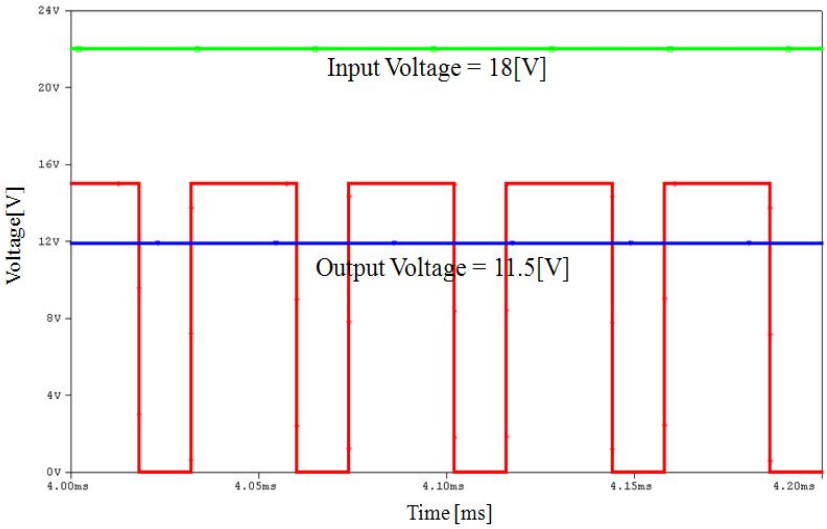


Fig. 9 Output voltage by Input voltage 18[V]

IV. 실험 및 결과

A. 시스템 구성

1. 시스템 구성

본 논문에서는 입력 전원 20V인가시 12V의 출력을 갖는 벅 컨버터를 아날로그 방식을 이용하여 설계하였다. 설계된 컨버터는 입력부, DC-DC buck 컨버터 및 제어부와 부하로 구성된다. 컨버터의 Paramater는 시뮬레이션 Paramater와 동일하며, 사용된 부하는 18[W], 12[V]인 LED조명을 사용하였다. 그림 10은 설계된 Buck DC-DC converter의 회로도를 나타낸다. 그림 11은 Buck converter의 전체 구성도를 나타내고 있다.[14]

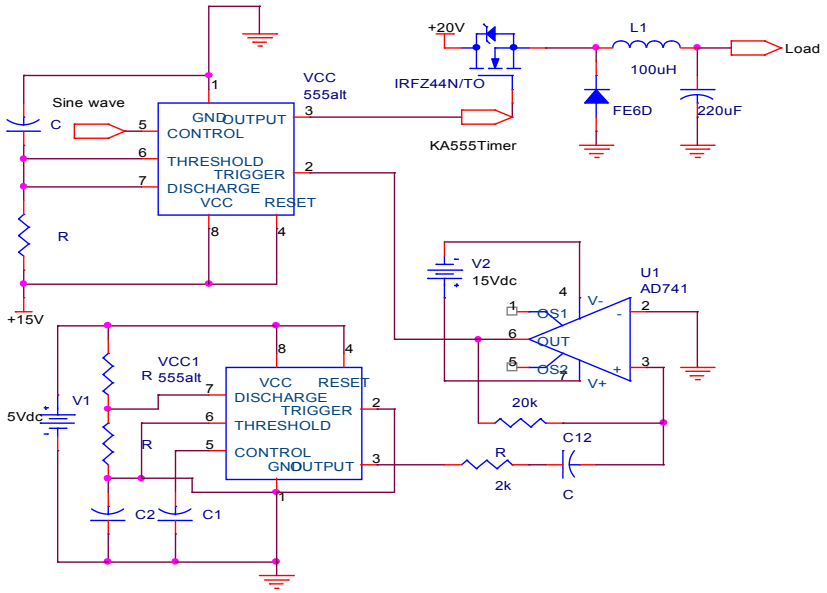


Fig. 10 Buck DC-DC converter circuit

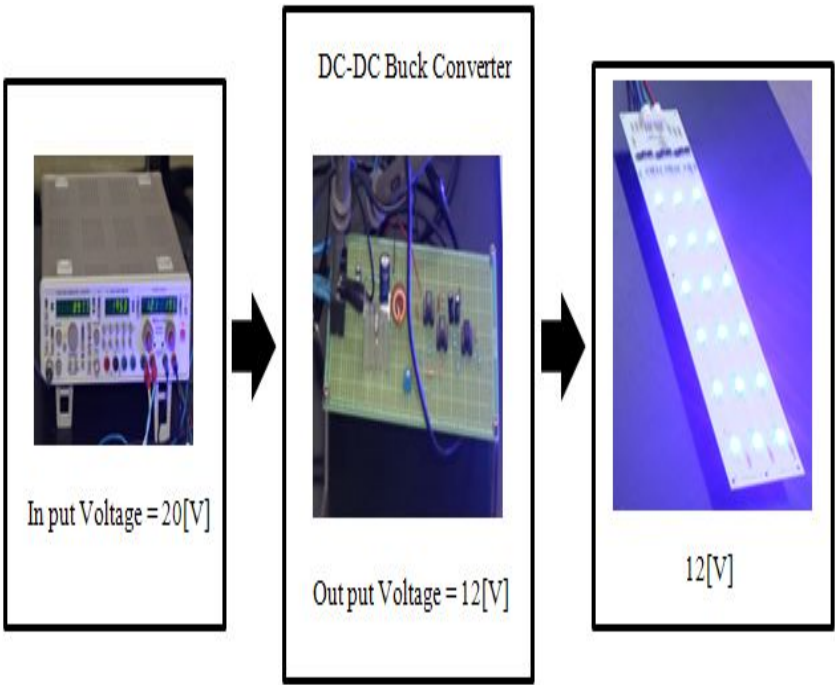


그림 11 Buck converter system configuration

2. 게이트 드라이브

Buck Converter의 출력전압을 제어하기 위해서는 MOSFET에 인가되는 PWM신호의 제어가 필요하다. 이 PWM 신호를 제어하기 위해서는 별도의 게이트 드라이브를 설계해주어야 하며, 게이트 드라이브 설계는 KA555 Single Timer를 이용하여 구형파 회로를 그림 12와 같이 설계하였고, 출력된 구형파는 그림 13의 미분기 회로를 거쳐 삼각파로 출력되도록 하였다. 미분기 회로를 거쳐 출력된 삼각파는 정현파와 함께 그림 14과 같은 KA555 Single Timer로 구성된 비교기를 거쳐 PWM파형으로 출력된다.

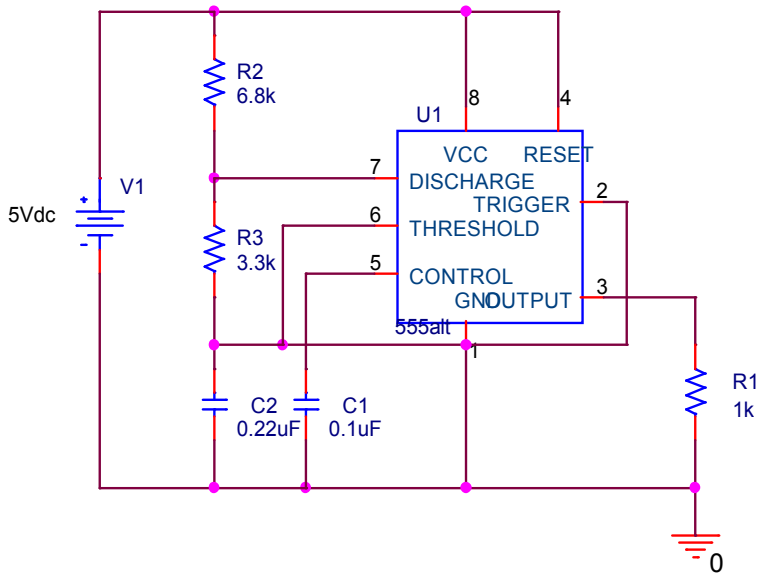


Fig. 12 Square wave generating circuit

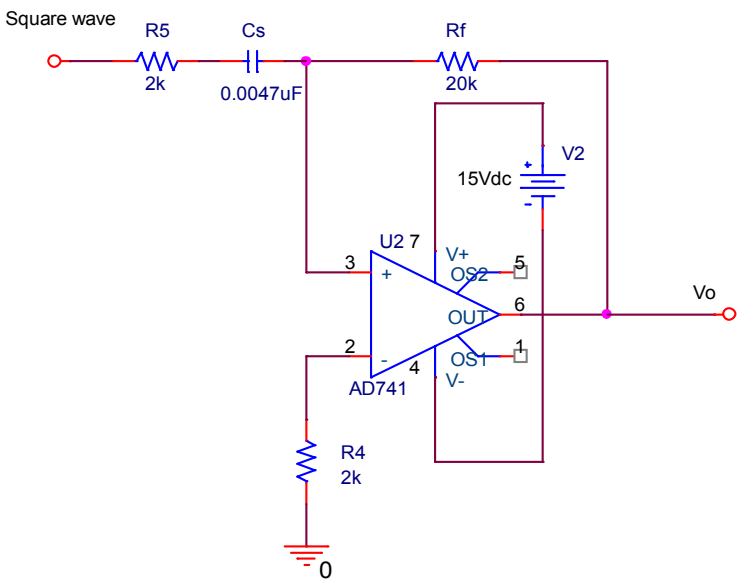


Fig. 13 Differentiator circuit

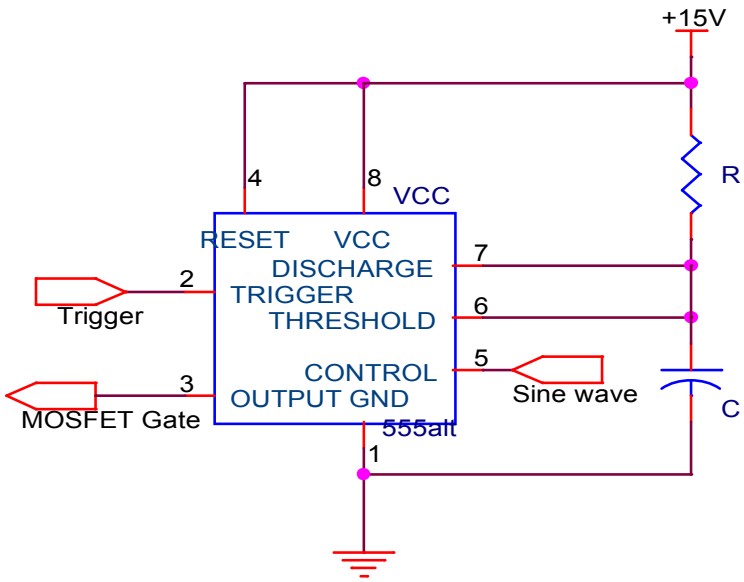


Fig. 14 Gate drive circuit

B. DC-DC Converter의 실험 결과 고찰

Buck DC-DC converter는 시뮬레이션을 바탕으로 설계하여 구성하였다. 그림 15은 벅 컨버터의 입력 전압, 전류파형을 나타내고 있다. 입력 전압이 20[V]시 벅 컨버터를 통하여 12[V]로 강압되며 이때 시비율은 약 0.6 임을 나타내고 있다. 그림 16는 벅 컨버터의 출력 전압, 전류 파형을 나타내고 있다. 실험을 통해 설계된 DC-DC buck converter의 출력 전압, 전류가 12.27[V], 1.519[A]로 Simulation 결과와는 미세한 차이가 있었지만 비교적 잘 설계되었음을 알 수 있었다.

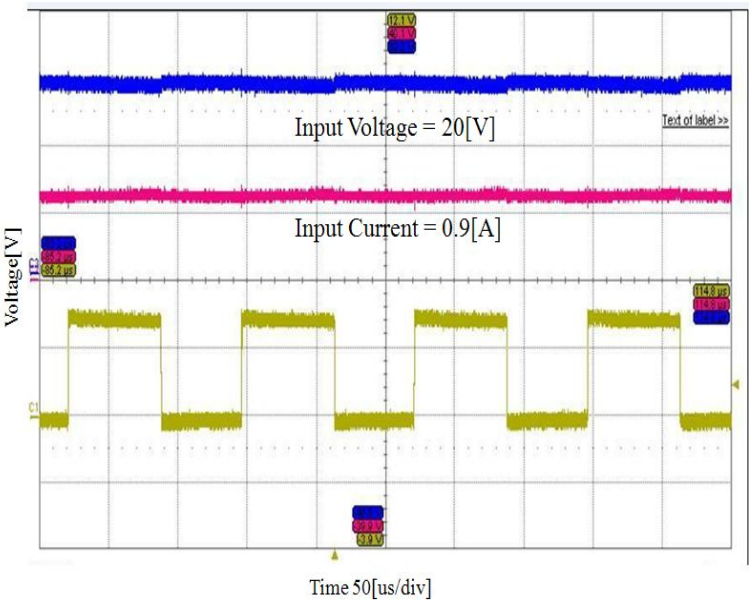


Fig. 15 Buck converter input voltage & current

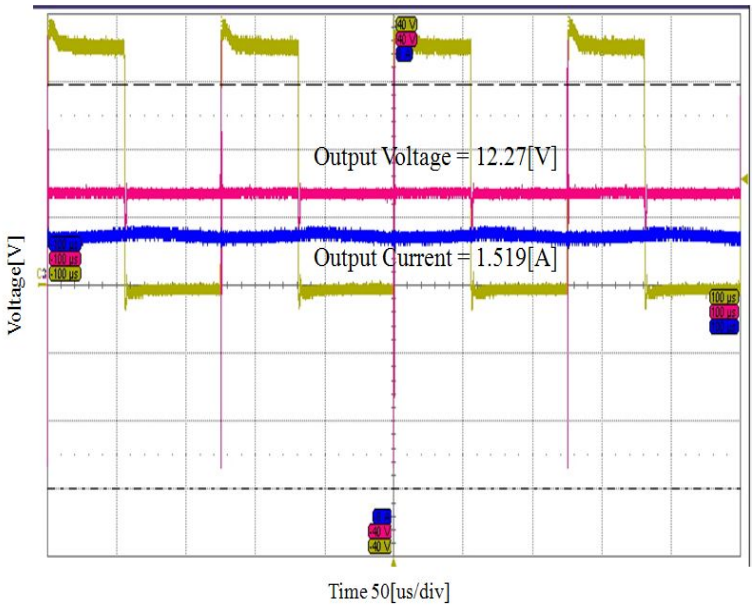


Fig. 16 Buck converter output voltage & current

V. 결 론

본 논문에서는 강압용 DC-DC buck converter를 아날로그 방식을 이용하여 설계하였으며, 설계된 DC-DC buck converter의 시뮬레이션과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스위칭 제어부의 듀티비를 조절하기위해 KA555 Single Timer로 구형파회로를 구성하였고, 출력되는 구형파를 미분회로를 통해 삼각파로 변환시켜주었다. 출력되는 삼각파를 KA555 Single Timer소자로 구성된 비교기에 정현파와 입력하여 출력된PWM(Pulse Width Modulation)파형을 스위칭 제어부에 입력하였다. 이때의 듀티비는 입력 20[V]를 인가하여 12[V]를 출력하기 위해 0.6으로 하였다.

2. 리플전류는 출력전류의 ± 15%를 기준으로 하여 커패시터의 용량을 선정하였다. 스위치 선정은 스위치가 Off상태일 때 양단에 걸리는 최대전압 V_{Dsmax} 와 On상태일 때 흐르는 최대전류 I_{Dsmax}, 그리고 전도손실을 최소로 하기위한 $R_{Ds(ON)}$등이 고려되어야 하므로 스위칭 소자는 IRFZ44N을 사용하였다. 환류 다이오드는 순방향 전도손실의 최소화, 역회복 특성을 만족하는 FE6D를 사용하였다.

3. 설계된 Parameters값으로 PSpice Simulation을 이용하여 Buck converter를 구성하였고, 그 결과로 출력 12[V]을 얻을 수 있었고, 실제 제작된 DC-DC buck converter를 실험한 결과 출력 전압, 전류는 12.27[V], 1.519[A]로 Simulation 결과와는 미세한 차이가 있었지만 비교적 잘 설계되었음을 알 수 있었다.

설계된 DC-DC buck converter는 강압형 컨버터로서 전기·전자 및 정보통신 기기의 전원공급 뿐만 아닌 입력전압이 가변하는 소형 독립형 태양광발전 Battery 충·방전 제어 등에 사용될 것으로 기대되며, 또한 시장 점유가 가장 큰 PC용 전원장치의 시장의 전원공급 장치로 활용 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] 홍순찬, 전희종, 백형래, 원충연 공역, “PSpice를 활용한 전력전자공학 개정판,” 인터비젼, 2002

[2] T. W. Lee, S. J. Jang, H. K. Jang and C. Y. won, ″ AFuel Cell Generation System with a Fuel Cell Simulator″, Journal of Power Electronics, KIPE, Vol. 5, No 1, pp. 1598-2092, 2005.

[3] 유권종외, “전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광발전시스템의 에어콘개발”, 한국에너지기술연구소 보고서, 1994.

[4] Mehmet Arik, Charles Beeker, Stanton Weaver, and James Petroski, ″ Thermal management of DC-DC buck converter system,″ proc. of SPIE, Vol.5187,64(2004)

[5] Maksimovic, D. and Cuk. S. ″Switching Converter Wide DC-DC Conversion Range″, IEEE Transaction Power Electronic, vol. b. no. 1991.

[6] Y. F. Lin, Paresh C. Sen, ″New class-E DC-DC converter topologies with constant switching frequency″, IEEE Trans.on Industrial Applications, Vol.32, No4, July/August 1996.

[7] 전자기술연구회, 한인환, “전원회로 설계 마스터” 기문사, 2003

[8] 김희준, 스위칭 전원의 기본설계, 성안당, 2002

[9] L. Tihanyi, Electromagnetic Compatibility in Power Electronics, IEEE Press, 1995voltage source inverter″, Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE

33rd Annual, 2002, pp. 909~914 vol.2

[10] Kazem Alwaeli H.A, Kadhim K.N, Abuazom M.A, "Analysis of a three-phase delta connected inductive load controlled by an ac voltage controllers", Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International, 2004, 420~424

[11] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", 1997, pp188

[12] 최현칠, 김학선, 조상윤 저, IsSpice의 활용, 북두출판사, 2000

[13] Design application note, MAGNETICS. INC, 2001

[14] K. H. Billings, Switchmode Power Supply Handbook, McGraw-Hill, 1999

감사의 글

공부를 하고 싶다는 막연한 바람에서 시작한 대학원 과정이 벌써 마무리 단계에 왔습니다. 3년이라는 시간이 길다면 길고, 짧다고 생각하면 짧은 것인데 주위 모든 분에게 베풀지는 못하고 받기만 한 것 같아서 죄송한 생각부터 듭니다. 저에게 도움을 주신 모든 분들께 먼저 감사의 마음을 표합니다.

본 논문의 처음 연구 계획에서부터 완성에 이르기까지 학문적 기틀과 바람직한 인생관을 깨우치게 해주신 조금배 교수님께 진심으로 고개 숙여 감사드립니다. 또한, 좋은 논문이 될 수 있도록 많은 격려와 조언을 해주신 백형래 교수님, 최연옥 교수님께도 감사드립니다.

그리고 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 조선대학교 전기공학과 전력전자연구실의 백승학님, 임지혜님, 장인혁님께도 감사의 말씀을 드립니다.

학업과 일을 동시에 한다는 핑계로 부족함이 많았던 저에게 도움을 주시고 배려를 해 주신 대양전자정보고등학교 우영희 교장선생님, 권혁진 교감선생님, 최재석 부장선생님, 표원세 부장선생님, 김만경 부장선생님, 유영철 부장선생님, 최진환 부장선생님, 변기석 부장선생님, 정진조 부장선생님, 이진호 부장선생님, 백쌍호 부장선생님, 심재신 부장선생님, 강경태 부장선생님, 아침부터 교문에서 학생들 지도에 고생하시는 생활지도부 김광태 부장선생님, 방창식 선생님, 옥계석 선생님, 허정수 선생님, 박희성 선생님, 차윤희 선생님 등 모든 선생님께도 고마운 마음을 전합니다. 또한, 친형처럼 저를 아껴주시는 서태원 선생님, 박찬권 선생님, 차봉주 선생님께도 감사드립니다.

처음 대학원 시작부터 끝까지 동고동락한 대학원 동기 김기열 선생님,

김혜영 선생님, 한선화 선생님께 축하의 말과 함께 앞날에 무궁한 영광이 깃들기를 기원합니다. 또한, 김준엽 선생님, 이헌중 선생님, 송민철 선생님, 한승수 선생님, 김철희 선생님, 임수연 선생님, 김형진 선생님, 이세연 선생님, 이슬미 선생님, 전성환 선생님, 성현진 선생님 그리고 기술•가정교육전공 교육대학원 모든 선생님과 가정교육학과 교수님들께도 감사의 마음을 전합니다.

항상 사랑과 관심으로 하나 뿐인 아들이 잘 되기를 기원해 주시는 아버지와 어머니, 동생이 공부를 마칠 수 있도록 아낌없이 배려를 해준 누나와 매형에게도 고마움을 전하며, 이 작은 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

대학원 3년이라는 기간은 제가 발전하고 성장할 수 있는 발돋움의 시간이 될 수 있었습니다. 다시 한 번 도움을 주신 제 주위의 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

2011년 6월

이 창 화 올림

저작물 이용 허락서

학 과	기술가정교육	학 번	20088215	과 정	석사
성 명	한글: 이창화 한문 : 李昌和 영문 : Lee Changhwa				
주 소	부산 동래구 사직2동 한신아파트 102동 404호				
연락처	E-MAIL : boy100sky@nate.com				
논문제목	한글 : 정전압 제어를 위한 벅컨버터 모델링 및 설계 영문 : Modeling and Design of Buck Converter for Constant Voltage Control				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 조건부 동의( ) 반대( )

2011년 8 월 일

저작자: 이 창 화 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하