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]I804:24011-200000256805

2012年 2月 碩士學位論文

2012 年 2月
工學碩士學位論文

아날로그/디지털 벅 컨버터 특성

아날로그/디지털 벅 컨버터 특성

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

吳 晩 惜

吳晩惜

아날로그/디지털 벅 컨버터 특성

Characteristics of Analog and Digital Buck Converter

2012年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

吳 晩 惜

아날로그/디지털 벅 컨버터 특성

指導敎授　白 亨 來

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2011年　10月　日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

吳 晩 惜

吳晩惜의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長　朝鮮大學校　敎授　曺錦培　印

委　員　朝鮮大學校　敎授　金容載　印

委　員　朝鮮大學校　敎授　白亨來　印

2011年　11月　日

朝鮮大學校 大學院

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. 불연속전류 모드의 DC-DC 컨버터 ····· 13
C. DC-DC 컨버터 설계시 고려사항 ····· 17

III. 시스템 구성 및 설계 ····· 18
A. 시스템 구성 ····· 18
B. 아날로그제어 시스템 구성 ····· 20
1. 시스템 구성 ····· 20
2. 게이트 드라이브 구성 ····· 21
C. 디지털제어 시스템 구성 ····· 23
1. 시스템 구성 ····· 23
2. 게이트 드라이브 구성 ····· 25

IV. 실 험 ····· 26
V. 결 론 ····· 28

참고문헌

List of Tables

Table 1 DC-DC buck converter simulation parameters ····· 18

List of Figures

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

Fig. 2 The driving 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 Buck converter system configuration ····· 19

Fig. 7 Block diagram of analog converter ····· 20

Fig. 8 Analog buck converter circuit ····· 20

Fig. 9 Square wave generating circuit ····· 21

Fig. 10 Differentiator circuit ····· 22

Fig. 11 Gate drive circuit ····· 22

Fig. 12 Block diagram of digital converter ····· 23

Fig. 13 Digital buck converter circuit ····· 24

Fig. 14 DC-DC buck converter circuit ····· 25

Fig. 15 Input voltage and current waveforms
of buck converter ····· 26

Fig. 16 Output voltage and current waveforms of analog buck converter ····· 27

Fig. 17 Output voltage and current waveforms of digital buck converter ····· 27

ABSTRACT

Characteristics of Analog and Digital Buck Converter

Man-Seok Oh
Advisor : Prof. Hyung-Lae Baek, Ph.D.
Department of Electrical Engineering,
Graduate School of Chosun University

Human beings have enjoyed abundant benefits due to constant development of scientific technology for more than two centuries. As science develops, industrial technologies have sought for miniaturization, light-weight, precision and high-efficiency, and demands of electric and electronic areas from industries have been increasing.

In many industrial applications, when DC power with a certain level of voltage is authorized to the load, to maintain the rating value in case of changes in load, DC voltage should be adjusted. DC-DC converter is needed to efficiently convert DC-DC voltage.

The DC-DC converter is an electric and electronic circuit which changes a direct current voltage into another direct current voltage and a power converter which controls output. It is a non-linear system used to supply

power for SMPS and amplifiers. Its control method is divided into analogue control and digital control. For the analogue control, input voltage is changed by equivalent variable resistance with use of transistor and IC to obtain output voltage. Its efficiency is low because of big power loss, but it is cheap. However, for the digital control, as output voltage is controled by ON and OFF switching systems through program control, its efficiency is high and the circuit is simple so it can be miniaturized, but its price is a little high.

Therefore, this study compared characteristics, advantages and disadvantages of analogue control converter using KA555 Single Timer with those of digital control converter using AVR AT Mega 128 based on the data obtained through tests and simulations.

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, 전압을 효율적으로 변환하기 위하여 필요한 것이 DC-DC Converter이다.[1]

DC-DC Converter는 직류 전압을 크기가 다른 직류 전압으로 변환하는 전력변환회로이며 출력을 제어하는 전력 변환기기로 SMPS, 증폭기에 사용되는 전원공급기로써 비선형시스템이다. 이러한, DC-DC Converter의 제어방식에는 크게 아날로그 제어 방식과 디지털 제어 방식으로 나눌 수 있다. 아날로그제어 방식은 입력 전압을 포함한 트랜지스터, IC등을 이용한 등가 가변 저항에 의해 가변시켜 출력전압을 얻는 방식으로 전력 손실이 커서 효율이 낮지만 가격이 낮다는 장점이 있다. 반면에 디지털 제어방식은 프로그램제어를 통한 스위칭 ON, OFF 제어를 통하여 출력전압을 제어하는 방식으로 효율이 높고 회로가 간단하여 소형화가 가능하다는 장점이 있는 반면 가격대가 다소 높다는 단점이 있다. [2]

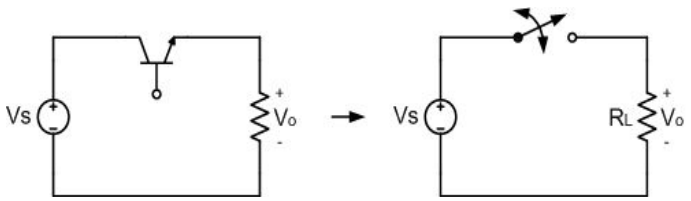
따라서 본 논문에서는 KA555 Single Timer를 이용한 아날로그 제어방식과 AVR AT Mega128을 이용한 디지털 제어 방식의 컨버터를 설계하고 실험하여 얻어진 데이터를 토대로 각각의 특성 및 장단점을 비교하고자 한다.

II. 이론적 고찰

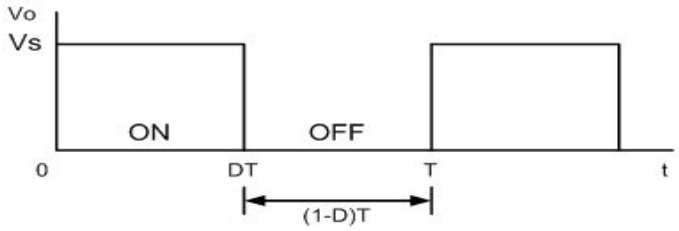
A. 연속전류모드의 DC-DC 컨버터

1. DC-DC 컨버터

DC-DC 컨버터는 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.

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

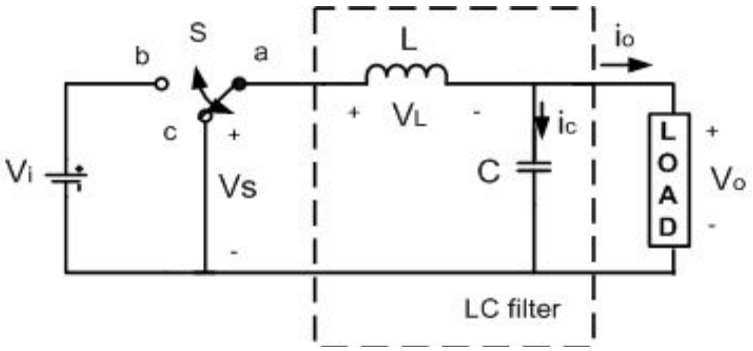
출력의 직류성분은 듀티비 D에 의해 제어되며, 듀티비는 다음 식(2)와 같이 주기에 대해 스위치가 닫혀있는 구간의 비율로 정의된다.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f \qquad (2)$$

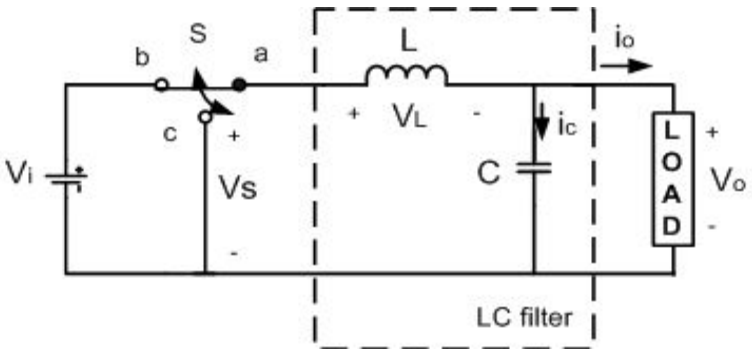
여기서 f는 스위칭 주파수이며, 이 회로에서 출력의 직류성분은 입력보다 작거나 같게 된다. 이상적인 스위치에서는 전력이 소모되지 않는다. 스위치가 열려있을 때 소자에는 전류가 흐르지 않으며, 스위치가 닫혀있을 때 소자 양단간에는 전압이 걸리지 않는다. 그러므로 모든 전력은 부하에서 소모되며, 에너지효율은 100%이다. 그러나 실제의 스위치에서는 손실이 발생하는데 그 이유는 스위치가 닫혀있을 때 소자 양단간의 전압이 0이 아니며 스위치가 온상태에서 오프상태로 바뀔 때 또는 오프상태에서 온상태로 바뀔 때 손실이 발생되는 선형 영역이 존재하기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

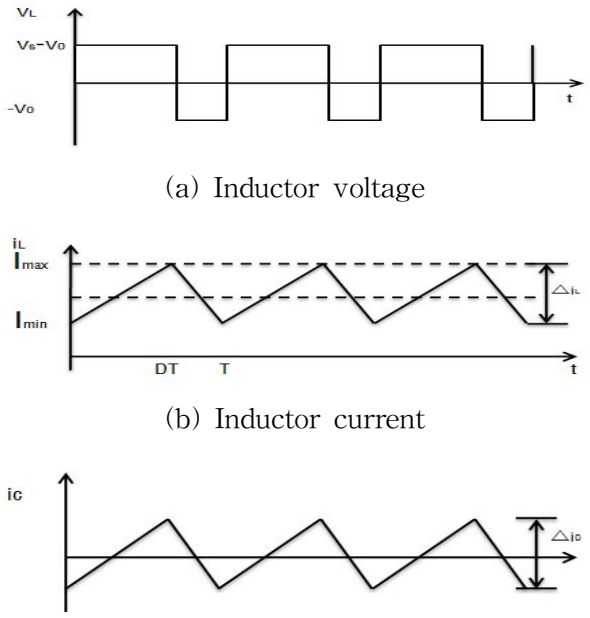


(b) $DT \le t < T$

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 전류파형을 그림 3과 같이 나타낸다.

인덕터 전류 iL에 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.

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

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.

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

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.

$$V_L = -V_o \tag{9}$$

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

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_o}{L} \tag{10}$$

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

터 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 제거되는 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.[6]

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

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

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

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

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. [7]

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]

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

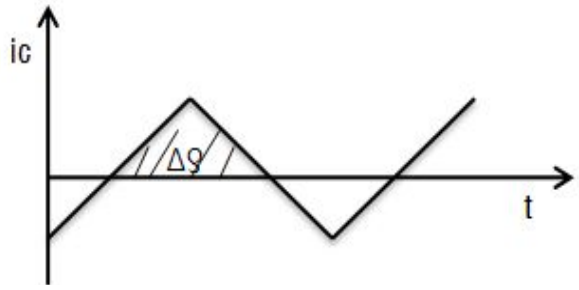
원하는 스위칭 주파수가 정해지면 인덕턴스 최소값은 식 (21)과 같다.

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

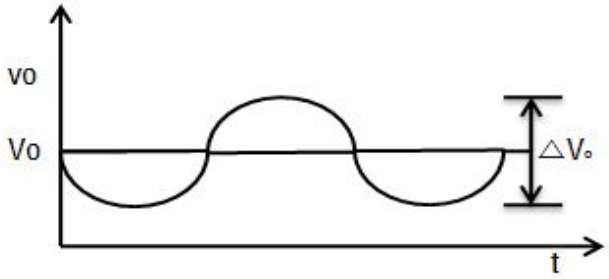
3. 출력전압의 맥동

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 출력전압의 리플성분은 식 (23)과 같다.

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

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

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

식 (23)을 대입하면 출력전압의 리플성분은 식 (25)와 같다.

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

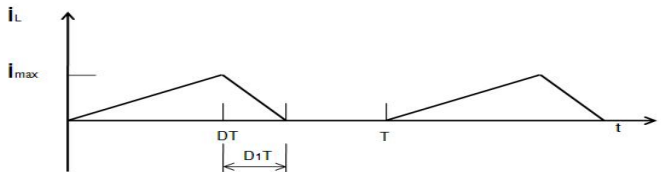
위 식에서 ΔV_o는 출력에서의 첨두대 첨두 맥동전압으로서 그림 4의 (b)와 같다. 또한 맥동전압을 출력전압의 비율로 나타내며, 식 (26)과 같다.

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

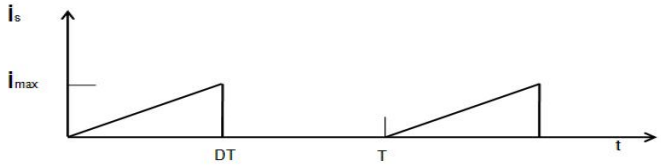
만약 맥동이 크지 않다면 출력이 일정하다는 앞서의 가정은 타당하며, 따라서 앞서의 해석결과를 사용할 수 있다.

B. 불연속전류 모드의 DC-DC 컨버터

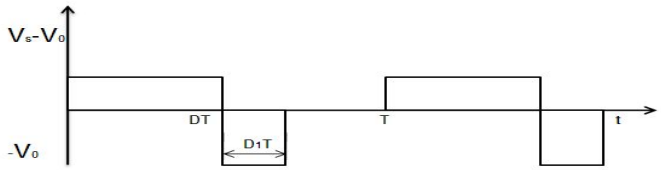
Buck DC-DC converter는 인덕터에 흐르는 전류파형에 연속 전류 모드와 불연속전류 모드로 나눌 수 있다. 앞절에서 설명한 내용은 일반적으로 정상적으로 동작하고 있는 연속전류모드일 때를 가정한 것이고 부하저항이 크거나 인덕턴스가 작을 경우에는 불연속전류 모드로 동작하게 되며 전압 상승 현상이 나타나게 된다.[9] 불연속 전류모드에서는 다른 방식의 해석이 필요하다. 그림 5는 불연속 전류모드의 Buck Converter의 파형을 나타내고 있다.



(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.

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

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

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

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 낮아진다. 따라서 스위칭주파수를 무작정 높힐 수는 없다. 수백kHz의 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 설계 명세에 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, 정류기도통손실, MOS 스위치의 스위치 손실이나 PWM Control IC 손실 등을 고려해야 한다.

III. 시스템 구성 및 설계

A. 시스템 구성

본 논문에서는 20V의 전원을 입력받아 12V를 출력하는 DC-DC 벅 컨버터를 표 1과 같이 동일한 파라미터 값으로 아날로그방식과 디지털 방식으로 제어한 두 벅 컨버터를 설계 제작하여 각각의 컨버터의 특성과 파형을 관찰하였다. 이때 실험에 사용된 부하는 18[W], 12[V]인 LED조명을 사용하였다. 그림 6은 전체 구성도를 나타내고 있다.

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]

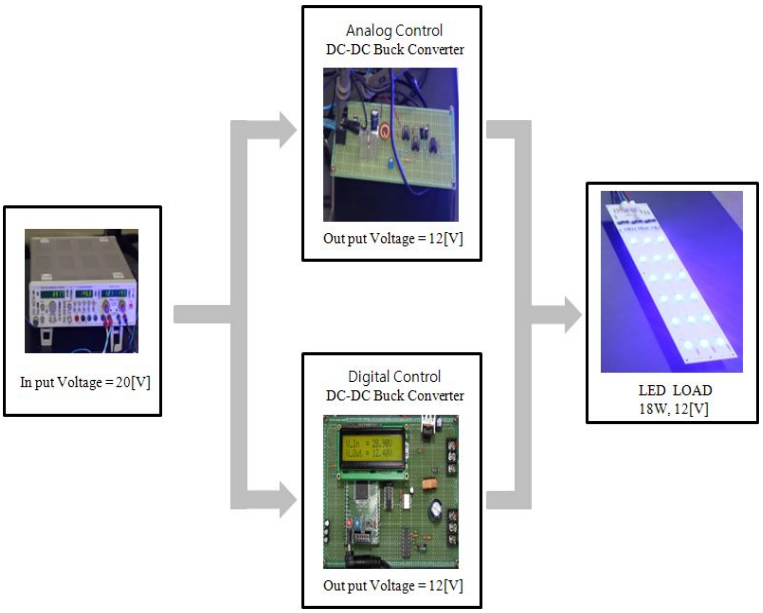


Fig. 6 Buck converter system configuration

B. 아날로그제어 시스템 구성

1. 시스템 구성

설계된 컨버터는 입력부, DC-DC Buck 컨버터 및 제어부와 부하로 구성된다. 그림 7은 설계된 컨버터의 블록다이어그램을 나타내고, 그림 8은 설계된 Buck DC-DC Converter의 회로도를 나타낸다.

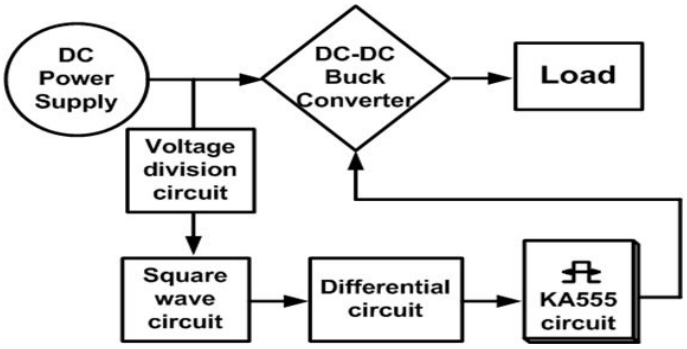


Fig. 7 Block diagram of analog converter

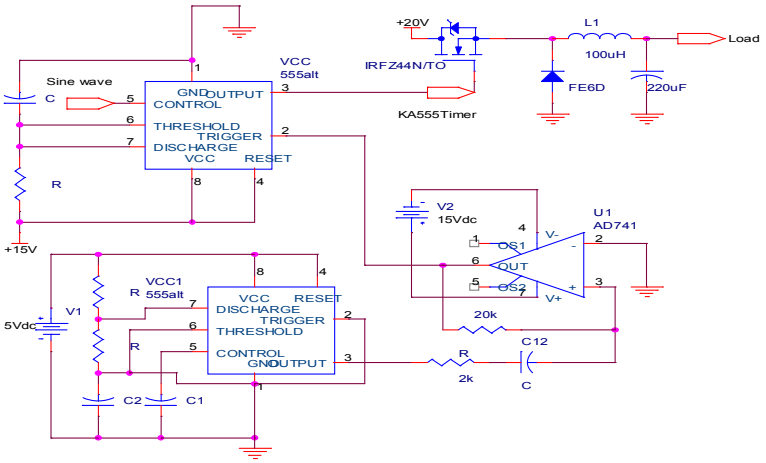


Fig. 8 Analog buck converter circuit

2. 게이트 드라이브 구성

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 9와 같이 설계하였고, 출력된 구형파는 그림 10의 미분기 회로를 거쳐 삼각파로 출력 되도록 하였다. 미분기 회로를 거쳐 출력된 삼각파는 정현파와 함께 그림 11과 같은 KA555 Single Timer로 구성된 비교기를 거쳐 PWM파형으로 출력된다.[11]

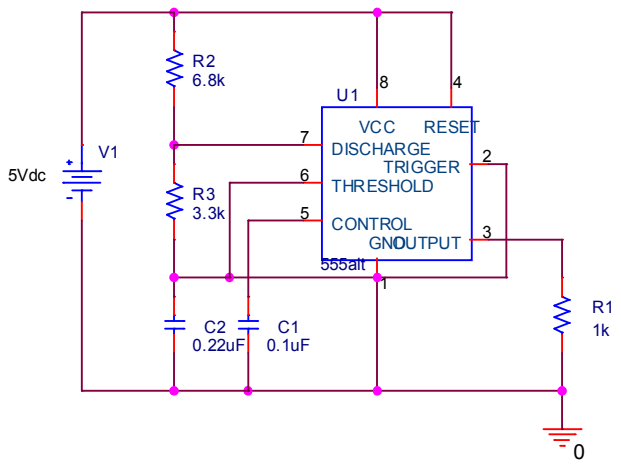


Fig. 9 Square wave generating circuit

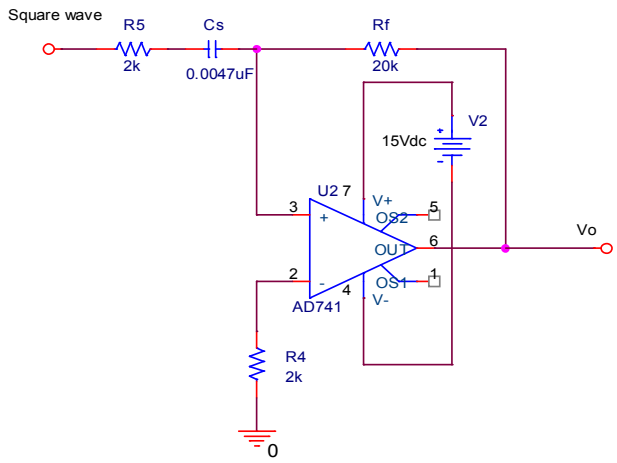


Fig. 10 Differentiator circuit

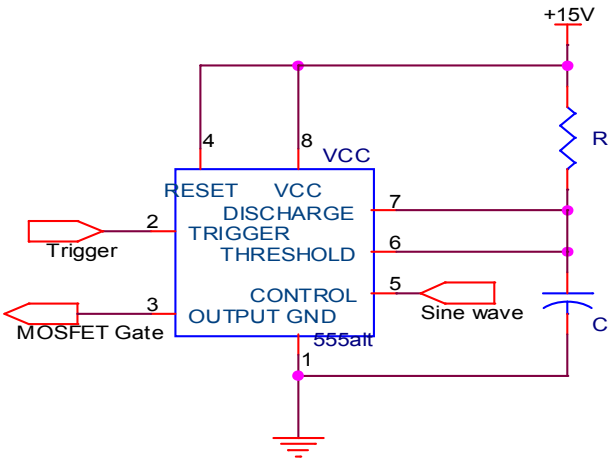


Fig. 11 Gate drive circuit

C. 디지털제어 시스템 구성

1. 시스템 구성

디지털제어 방식의 컨버터 구성은 DC 전원을 마이크로프로세서의 AVR 타이머/ 카운터의 PWM파형을 DC-DC Converter에 인가 시켜주며, 전압분압 회로를 거쳐 AVR의 A/D 변환기능을 이용하여 변환된 Converter의 출력 전압의 변동을 피드백 회로를 통하여 받아 LCD 표시부에 입력전압과 출력전압을 표시하여 확인 하였다.

또한 출력부에서 전류를 전류분압회로를 거쳐 출력된 값을 피드백 받아 OP-AMP를 통해 증폭시켜 아날로그 신호 A/D컨버터를 통하여 디지털 값으로 변환하여, AVR의 A/D 변환을 통하여 PWM파형을 조절하여 컨버터에 인가해줌으로써 안정적인 전류를 부하에 공급하여 준다. 설계된 컨버터의 파라미터 값은 아날로그 컨버터와 동일하고, 그림 12는 블록다이어 그램을 나타내고, 그림 13은 설계된 디지털 방식의 컨버터의 회로도를 나타낸다.

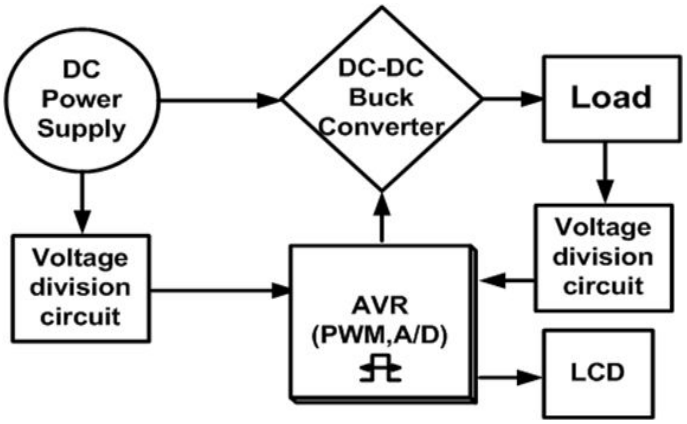


Fig. 12 Block diagram of digital converter

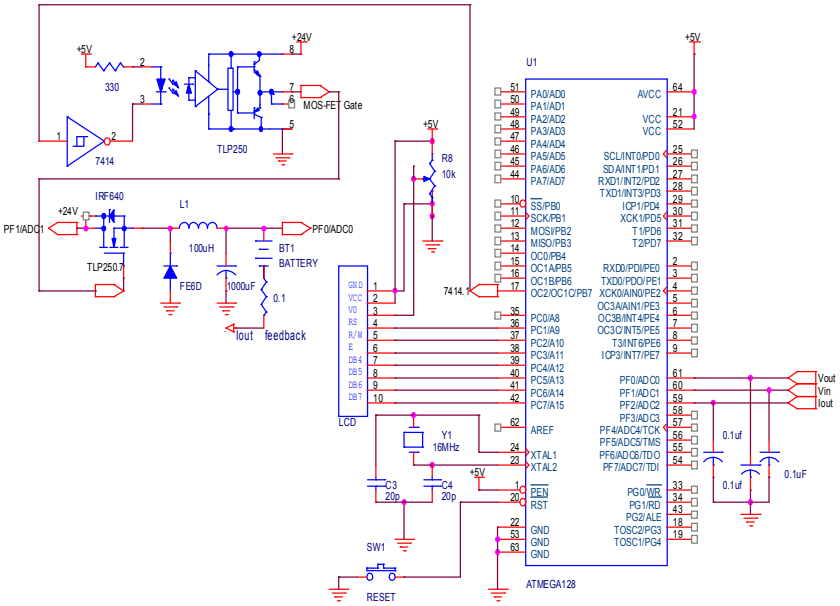
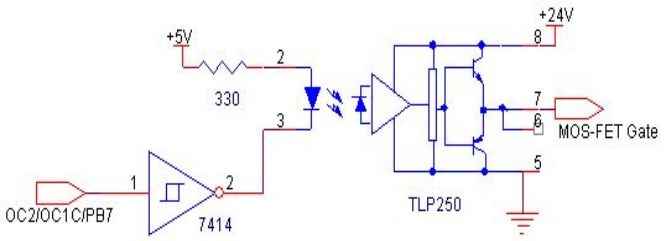


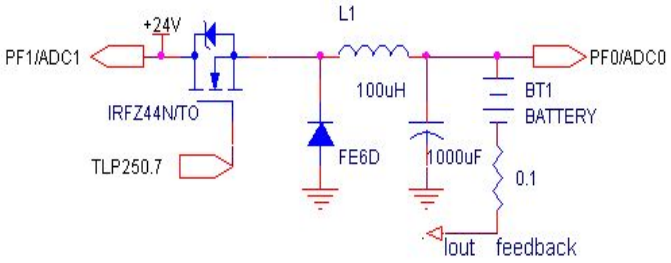
Fig. 13 Digital buck converter circuit

2. 게이트드라이브 구성

그림 14의 (a)는 게이트 드라이브 회로도를 나타내며, (b)는 DC-DC Buck Converter의 회로도를 나타낸다.



(a) Gate drive circuit



(b) DC-DC buck converter circuit

Fig. 24 DC-DC buck converter circuit

IV. 실험 결과

설계된 Buck DC-DC Converter는 표 1의 파라미터값을 바탕으로 아날로그 제어방식과 디지털 제어방식으로 제작하였다. 그림 15은 제작된 벅 컨버터의 입력 파형으로써 전압 20[V], 전류파형 1.5[A]를 나타내고 있다.

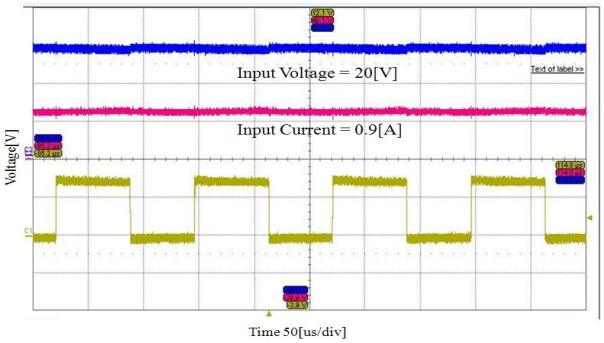


Fig. 15 Input voltage and current waveforms of buck converter

그림 16은 아날로그 제어 방식의 벅 컨버터의 출력 전압, 전류 파형을 나타내고 있다. 측정된 출력 전압, 전류는 12.02[V], 1.496[A]을 나타내었다.

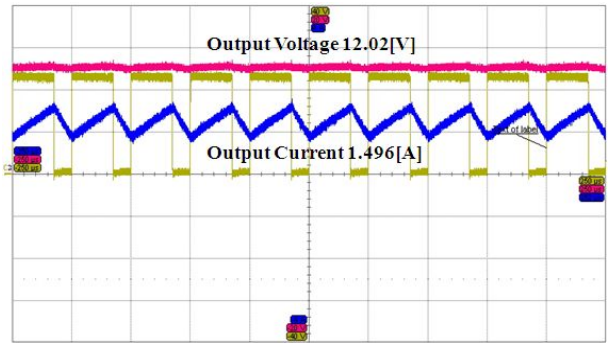


Fig. 16 Output voltage and current waveforms of analog buck converter

그림 17는 디지털 제어 방식의 벅 컨버터의 출력 전압, 전류 파형을 나타낸 것으로 측정된 출력 전압, 전류는 12.27[V], 1.519[A]로써 아날로그 제어 방식에 비해 출력 파형의 리플이 개선되었으며, 그로 인한 효율이 개선 되었음을 알 수 있었다.

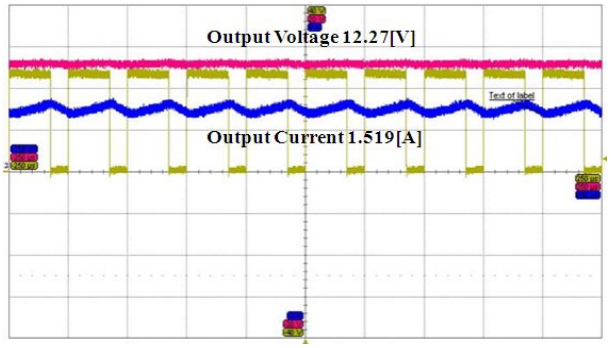


Fig. 17 Output voltage and current waveforms of digiter buck converter

V. 결 론

본 논문에서는 산업 시스템의 전력 변환 장치의 적절한 설계를 위한 강압용 DC-DC Buck Converter를 아날로그 제어방식과 디지털 제어방식을 동일한 파라미터값을 이용하여 설계하였으며, 실험을 통해 각각의 벅 컨버터의 출력 전압, 전류 파형을 측정하였고, 이를 통해 특성을 비교 분석하였다.

아날로그 제어방식을 이용한 벅 컨버터의 스위칭 제어부는 듀티비를 조절하기위해 KA555 Single Timer로 구형파회로를 구성하였고, 출력되는 구형파를 미분회로를 통해 삼각파로 변환시켜주었다. 출력되는 삼각파를 KA555 Single Timer소자로 구성된 비교기에 정현파와 입력하여 출력된 PWM(Pulse Width Modulation)파형을 스위칭 제어부에 입력하였다.

디지털 제어방식을 이용한 벅 컨버터의 스위칭 제어부는 16비트 타이머 카운터를 이용하여 PWM 신호를 출력하였다. PWM 주파수는 OCRnA를 TOP 값으로 하는 모드로 레지스터를 설정하였고, 펄스폭은 OCR1C 레지스터 값을 설정하여 제어 하였다.

실험 결과 디지털 제어방식의 벅 컨버터의 경우가 아날로그 제어방식의 벅 컨버터보다 리플이 감소하였고 그로인해 효율이 개선되었으며, 회로의 구성이 보다 간편하였고, 부하 변동시 별도의 소자 교체없이 프로그램 입력만으로 제어가 가능하다는 장점을 알 수 있었다. 하지만 디지털 제어방식의 경우 아날로그 제어방식에 비해 사용된 제품의 가격이 높기 때문에 이를 고려하여 시스템을 설계를 한다면 보다 합리적인 설계가 될 것으로 기대된다.

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, ″ A Fuel 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 에어콘 개발”, 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] LEE, J.H., Bae, H.S. and cho, B.H, "Resistive Control for a Photovoltaic Battery Charging System Using a Microcontroller", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, Issue 7, pp. 2713-2723, July. 2008

[9] Gules R., De Pellegrin Pacheco J., Hey H.L. and Rnhoff J., " A Maxinum Power Point Tracking System with Parallel Connection for PV Stand Alone Application:, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, Issue 7, pp. 2674-2683, July. 2008

[10] Tschirhart D.J. and Jain P.K., " A CLL Resonant Asymmetrical Pulse Width Modulated Converter with Improved Efficiency", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, Issue 2 pp. 707-715, April. 2007

[11] 장인혁, 티와리카필, 김보현, 김대승, 최연옥, 조금배, 백형래 “Buck Converter를 이용한 베터리 충전 제어 시스템에 관한 연구”, 대한전기학회 학술대회논문집, 7.14-16 2010

감사의 글

조선대학교 전기공학과 대학원에 입학하여 벌써 2년이란 시간이 흐르고 석사과정을 마무리할 때가 되었습니다.

작은 시작에서 뜻을 세워 보다 나은 전기인이 되고자 하는데 열정과 성의를 다해 지도해주신 교수님과 대학원 동료의 많은 도움과 격려로 전기에 대한 지식의 성장을 할 수 있어 행복하였습니다.

진심으로 열과 성의를 다해서 지도해 주시고 성장할 수 있도록 해주신 백형래 교수님, 이우선 교수님, 조금배 교수님, 최효상 교수님, 김용재 교수님, 김남훈 교수님, 최연옥 교수님께 감사드립니다.

함께한 시간은 짧지만 젊은 열정으로 많은 것을 배우고 느끼게 해준 대학원 선배님들과 장인혁, 백승학, 임지혜 학우에게 감사드립니다.

그리고 저의 공부로 인해 힘들지만 사랑과 믿음으로 지원해주는 아내 공경수님께 감사드리며 항상 함께 놀아주고 같이하는 시간이 부족하지만 저에게 힘이 되어주는 영주, 진우에게 고마움을 느끼며 건강하고 지혜롭게 성장하길 바랍니다.

항상 또 하나의 시작을 위해서 최선을 다하여 배우고 노력하며 하나하나 소중히 기억하는 사람이 되도록 하겠습니다.

2011년 12월

오 만 석