creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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]I804:24011-200000240069

2010년 8월
교육학석사(기술 · 가정교육)학위논문

DC-DC 벅 컨버터를 이용한 배터리 충전시스템에 관한 연구

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

최 우 석

DC-DC 벅 컨버터를 이용한 배터리 충전시스템에 관한 연구

A Study on the Battery Charging System using DC-DC Buck Converter

2010年 8月 日

조선대학교 교육대학원

기술·가정교육전공

최 우 석

DC-DC 벅 컨버터를 이용한 배터리 충전시스템에 관한 연구

지도교수 조 금 배

이 논문을 교육학석사(기술·가정교육)학위
청구논문으로 제출함.

2010年 4月 日

조선대학교 교육대학원

기술·가정교육전공

최 우 석

최우석의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장　조선대학교 교수 _____인

심사위원　　조선대학교 교수 _____인

심사위원　　조선대학교 교수 _____인

2010年　6月　　日

조선대학교 교육대학원

목 차

ABSTRACT

I. 서 론 ····· 1

II. 이론적 고찰 ····· 3
A. 전력저장장치 ····· 3
1. 전력저장장치의 종류 ····· 3
2. 축전지 특성 ····· 6
B. 벅 컨버터의 동작 ····· 12
1. 직류-직류 변환기 ····· 12
2. 벅 컨버터의 구동원리 및 구조 ····· 12
3. 출력전압의 맥동 ····· 20
4. 설계시 고려사항 ····· 22

III. 실험 및 결과 ····· 23
A. Buck Converter 설계 ····· 23
B. 시스템 구성 ····· 27
C. 제어기 구성 ····· 29
D. 결과 고찰 ····· 30

IV. 결 론 ····· 32

참고문헌

List of Tables

Table 1 Compare Ni-MH, Liquid Ni-Cd and Lead-acid Battery … 5

Table 2 Application field of Ni-MH Battery …… 11

Table 3 Buck Converter Design Specification …… 24

List of figures

Fig. 1 Effective Capacity of 20 Hours Selected Charts ····· 6

Fig. 2 Battery Capacity by the Temperature Changes ····· 7

Fig. 3 Changes in the Internal Resistance of Discharge ····· 7

Fig. 4 Self Discharge Characteristics ····· 8

Fig. 5 The Relationship between Open Voltage and Discharge State ····· 9

Fig. 6 The Relationship between Floating Charge Voltage and the Relationship ····· 10

Fig. 7 The Relationship between Temperature and Lifetime ····· 10

Fig. 8 The Operating Principle of the Buck Converter ····· 13

Fig. 9 Buck Converter Basic Waveforms ····· 14

Fig. 10 Capacitor Current and Ripple Output Voltage ····· 20

Fig. 11 The Equivalent Circuit of Buck Converter ····· 23

Fig. 12 DC-DC Buck Converter Block Diagram ····· 27

Fig. 13 Designed DC-DC Buck Converter Schematic ····· 28

Fig. 14 Output Current Feedback Circuit ····· 28

Fig. 15 Designed ATmega128 Schematic ····· 29

Fig. 16 Battery Charging Device ····· 30

Fig. 17 Gate Signal by Constant Pulse width Modulation ····· 30

Fig. 18 Gate Signal by Variable Pulse width Modulation ····· 31

Fig. 19 Controlled Output Current and Voltage ····· 31

ABSTRACT

A Study on the Battery Charging System using DC-DC Buck Converter

By Choi Woo Seok

Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.

Major in Technology and Home-Economics Education,

Graduate School of Education, Chosun University

The DC-DC buck converter is electronic 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 general it is using battery charging device gt consist of transformer, bridge rectifier and filter capacitors. However these structure is charging device, Which is degradation occurs of transient current and distortion of the waveform rectifiers. Gt effects efficiency of DC-DC buck converter.

In this paper shows ATmel, AVR RISC 8 bit micro-processor using the ATmaga128 rated voltage and power factor Control the method chosen for using PWM battery charger. The characteristic shows theoretic analysis and experimental results.

I. 서 론

현재 인류가 가장 널리 이용하고 있는 전기 에너지의 대부분은 화력발전이나 원자력발전을 통해서 얻고 있다. 하지만 최근 급속한 산업의 발달과 생활수준의 향상으로 전력수요의 지속적인 증가와 화석에너지의 고갈, 환경오염 문제 등으로 신재생에너지의 개발을 필요로 하고 있다. 각 선진국에서는 이러한 이유로 태양광발전에 관한 연구 및 보급 사업을 정부 주도로 강력하게 추진 중이다. 우리나라에서도 태양광, 풍력, 연료전지를 3대 중점사업으로 신재생에너지의 개발 및 보급에 힘쓰고 있다.

신재생에너지 중 에너지를 저장하는 연료전지와 광기전력 효과를 이용하여 빛에너지를 전기에너지로 변환하여 사용하는 태양광발전은 배터리 및 배터리 충전장치가 중요하다고 할 수 있으며 이 충전장치를 효율적으로 설계하기 위하여 필요 한 것이 직류-직류 변환기이다.

직류-직류 변환기는 직류 전압을 크기가 다른 직류 전압으로 변환하는 전력전자회로이며 출력을 제어하는 데 많이 사용된다. 집적화 기술이 발달함에 따라 다양한 전자 기기의 직류 안정화 전원으로서 폭넓게 이용되고 있는 직류전원 장치는 고주파 스위칭 작용을 이용하여 직류 출력 전압으로 변환시키는 직류-직류 변환기의 회로부분과 출력전압을 안정화 시키는데 필요한 제어회로로 나눌 수 있다.

직류-직류 컨버터 중에서 벅(Buck)컨버터는 중·소형의 직류 안정화 전원장치로 많이 이용되고 있다. 벅 컨버터는 모든 신호 체인 디바이스에 안정된 전원을 공급하기 위해 필요하며 높은 효율을 유지하기 위해서는 스위칭 컨트롤을 필요로 한다. 그러나 벅(Buck) 컨버터 시스템의 상당 부분을 차지하는 커패시터나 인덕터 등의 에너지 축적용 소자가 많이 이용되고 있으며 이로 인해 소형·경량화에 대한 요구는 필수적이다. 에너지 축적용 소자의 소형화를 위해서는 컨버터의 스위칭 주파수를 높여야

한다. 그러나 이러한 고주파스위칭은 스위칭 소자의 스위칭 손실은 전이 기간 동안 스위치의 전류와 전압이 중복되는 문제점을 나타내었다.

본 논문에서는 Buck 컨버터 방식을 이용한 배터리의 충전제어기에 대한 이론적 해석을 통하여 ATmel 사의 AVR RISC 8-bit 마이크로프로세서 ATmega128을 이용하여 Buck 컨버터 방식의 베터리 충전기를 설계 및 구성하고 배터리의 충전전류 제어에 대한 실험을 통해 충전특성을 고찰하고자 한다.

II. 이론적 고찰

A. 전력저장장치

1. 전력저장장치의 종류

가. 납축전지

납축전지는 1860년대에 개발된 이후, 150년 이상의 역사를 가진 전지이다. 1950년대 흡수반응 사이클을 이용한 밀폐계의 전지가 발명되고, 1960년대에는 포터블기기에 적합한 보수를 필요로 하지 않는 전지도 개발되어 각종 백업 전원 및 포터블 TV등에 사용되었다.

그 후, 무정전 전원장치(UPS : United Parcel Service), 통신, 비상 조명 등에 사용되어 왔고 최근에는 과거와 달리 유지 보수가 필요 없기 때문에 자동차의 시동용전원에 가장 많이 사용되고 있으며 산업용 분야와 군용으로도 많이 쓰이고 있다.

납축전지의 장점은 제작이 용이하고 생산단가가 저렴하며, 저 방전용으로 적합하고 오랜 기간 동안 사용되어 검증된 제품이다. 단점으로는 단위 중량당 에너지 밀도가 낮아 축전지의 전체 무게가 무겁고 대전류의 과 충방전의 내구성이 취약하다. 사용온도 대역이 0~30°C로 온도대비 부대설비가 요구되며 수명이 짧아 충방전 사이클이 최대 500회 정도이다. 그리고 유해 중금속인 납이 주요 활물질이기 때문에 주변의 전원장비 부식과 인체에 유해한 작용을 한다.[1]

나. Ni-Cd 전지

Ni-cd전지는 1899년 융그나에 의해서 양극에 니켈, 음극에 카드뮴을 사용하는 전지로 발명되었으나 건전지나 납축전지에 비해 재료가 고가였기 때문에 실용화가 늦어졌다. 전지의 구조는 포켓 또는 튜브라고 불리우는 금속용기에 활물질을 충전한 구조였으며, 1982년에 독일의 아카만 등에 의하여 니켈분말을 소결하여 얻는 니켈 다공체 활물질을 충전하는 소결식 극판의 발명이 이루어져 급속하게 발전하였다.

Ni-Cd전지는 기존의 전지에 비해 온도 특성이 뛰어나고, 장수명이며 우수한 출력특성을 갖는다. 따라서 납축전지를 대체하여 중, 대형의 전지로서 산업용, 군수용 시장에 진입하였다.

Ni-Cd 전지의 장점으로는 대전류의 과 충방전에 내구성이 강하고, 고방전용에 적합하다. 사용온도 대역이 -25~55°C로 매우 넓고, 장 수명 전지이다. 단점으로는 가격이 비싸고 유해 중금속인 Cd(카드뮴)을 음극 활물질로 사용하여 친환경적이지 못하고, 방전 후 재충전시 반드시 균등 충전으로 정격 전압대비 150% 과충전이 필수로 년 2회 전해액 보충이 필요하다.[2]

다. Ni-MH 전지

Ni-MH전지는 양극에 Ni-Cd 이차전지와 같은 니켈 산화물을, 음극에 활물질인 수소를 전기화학적으로 흡장하고 방출할 수 있는 수소흡장 합금을, 전해액으로는 고농도의 수산화칼륨을 이용한 2차전지이다. 수소흡장 합금은 열, 수소압력, 전위에 따라 수소를 흡장하고 방출할 수 있는 합금으로서 에너지의 저장과 수송 등 여러 가지 응용이 연구 개발되어 왔다. Ni-MH전지는 합금의 전위를 변화시킴으로써 수소의 흡장과 방출이 가

능한 기능을 이용한 것이다. 다음 표 1은 Ni-MH전지와 액식Ni-Cd, 납축전지의 제품용량과 공칭전압, 중량, 체적과 에너지 밀도를 비교한 것이다.

Table 1 Compare Ni-MH, Liquid Ni-Cd and Lead-acid Battery

Topics	Ni-MH battery		Liquid type Ni-Cd	Lead-acid battery
	Enclosure Type Ni-MH	Liquid type Ni-MH		
Capacity(Ah)	100	100	100	100
Nominal Voltage(V)	12	12	12	12
Product Weight(kg)	18	115	110	40
Product volume	7.7	75.5	75.5	24.9
Product Dimensions (mm)	116	171	170	443
	36	120	120	237
	175	368	370	237
Energy Density	66.7	10.4	10.9	30
	155.9	15.9	15.9	48.2

2. 축전지 특성

가. 소형 무보수 밀폐형 축전지

소형 무보수 밀폐형 축전지는 전기저항과 내구성을 향상시킨 격리판과 내부식성과 내열 특성의 합금 사용으로 더욱 안정된 수명을 실현한다. 전기 전도성을 향상시키기 위하여 99.9%동(Cu)에 은(Ag)을 도금한 고급 단자를 사용한다.[3]

나. 축전지 용량 선택

그림 1은 각 형명별 축전지의 방전전류치와 방전시간과의 관계를 나타낸 것으로 구체적인 부하조건에 맞는 축전지를 선택할 수 있다.

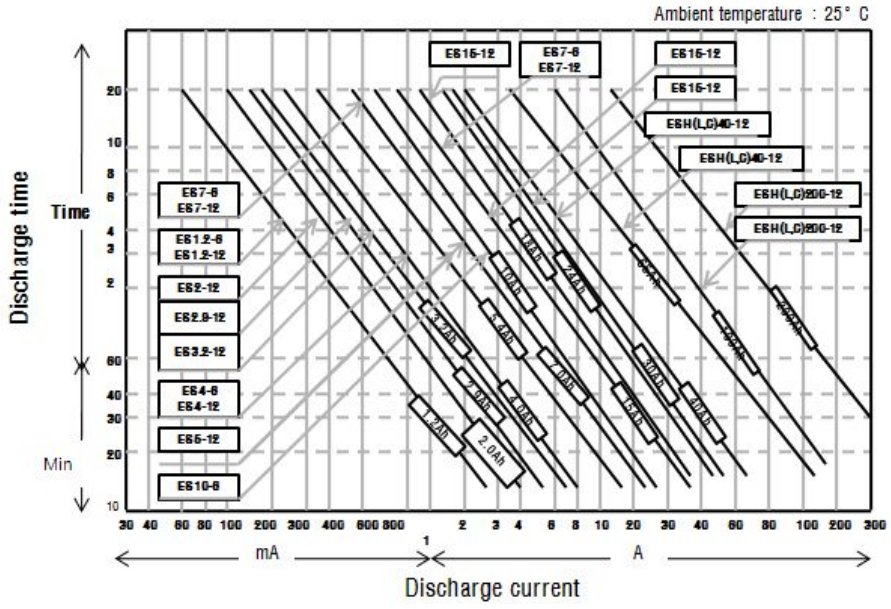


Fig. 1 Effective Capacity of 20 Hours Selected Charts

방전 종지 전압은 방전시 전지가 허용하는 최저전압으로 그 값은 방전 전류(방전율)에 따라 다르다. 최저 전압 이하로 떨어지면 과방전(심방전)이 되어, 회복충전이 어렵고 극판의 셀페이션 현상이 나타나 수명단축의 원인이 된다. 그림 2는 전지온도와 방전용량의 관계를 나타낸다.

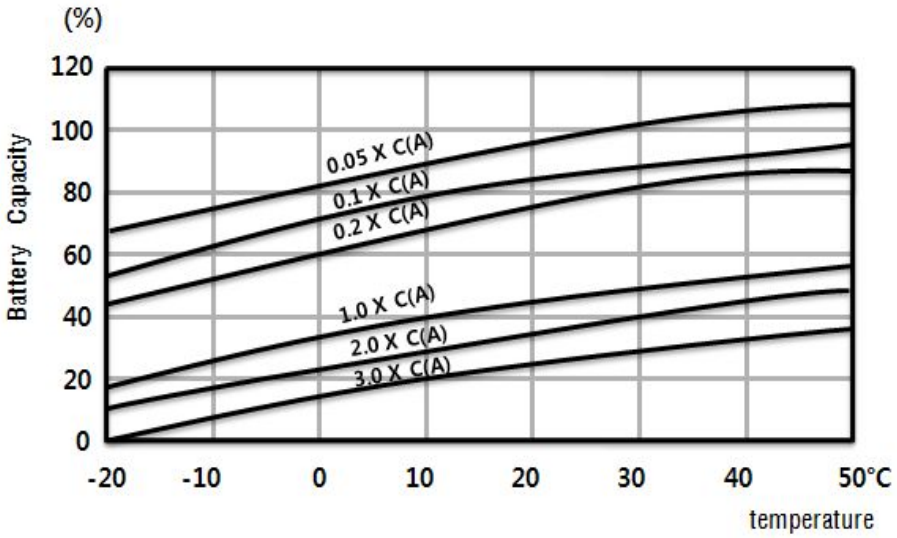


Fig. 2 Battery Capacity by the Temperature Changes

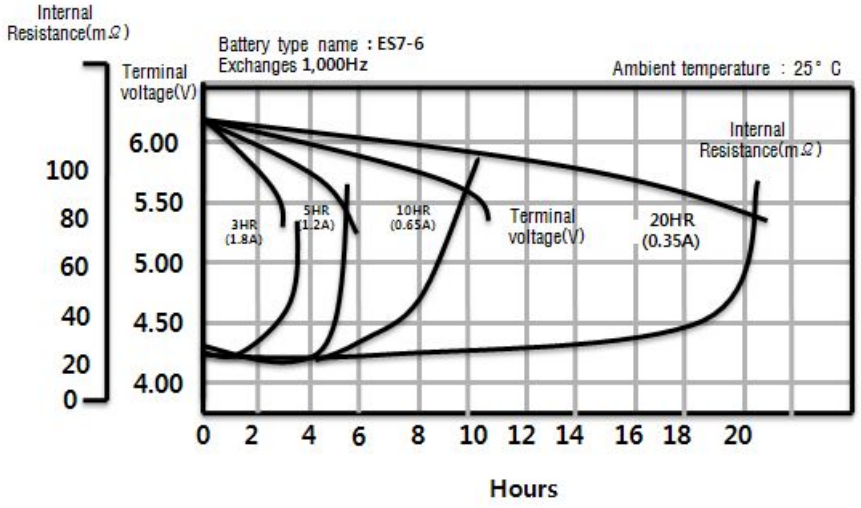


Fig. 3 Changes in the Internal Resistance of Discharge

그림 3은 교류 1,000Hz 동기검파법에 의한 방전 중의 내부저항 변화 측정을 표시한 것이다. 축전지는 만충전 상태일 때는 내부저항이 최저가 되나, 방전이 진행되면서 서서히 증가하고, 방전 종지에서는 급격히 증가한다. 그러나 방전종지에 도달하여 방전을 중단하면 내부저항은 서서히 감소한다.

다. 저장 특성

자기 방전량은 자동차용 축전지에 비하여 아주 작아, 주위온도 20°C에서 보관할 경우 3%개월 정도의 자기방전이 발생하여 장기보관이 가능하며 자기 방전량은 온도가 높으면 커지기 때문에 축전지의 보관은 가능한 온도가 낮은 장소가 유리하다. 그림 4는 온도와 자기방전과의 관계를 나타낸 것이다.

연축전지의 개로전압은 전해액의 비중에 따라 변한다. 축전지는 방전에 따라 전해액의 비중이 크게 변화하므로 개로전압의 측정에 의하여 축전지의 잔존용량을 측정할 수 있다. 그림 5는 개로전압과 방전상태의 관계를 나타낸다.

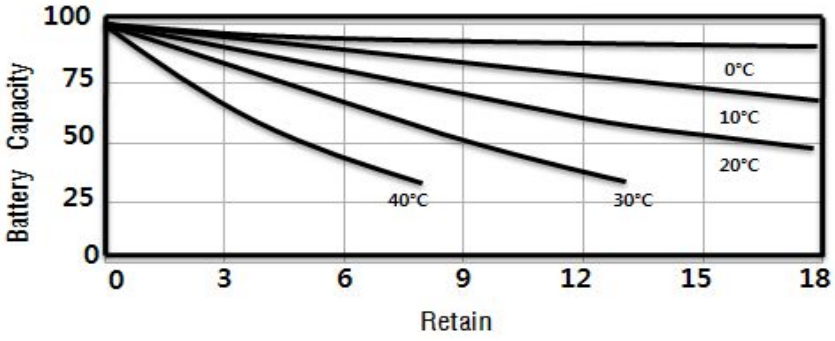


Fig. 4 Self Discharge Characteristics

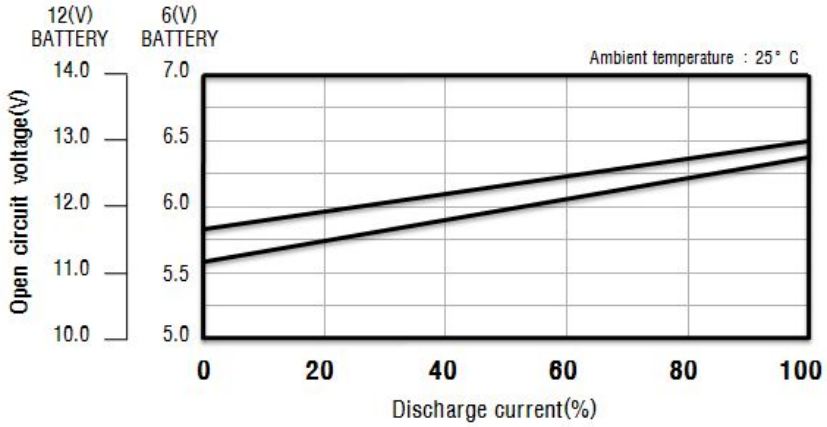


Fig. 5 The Relationship between Open Voltage and Discharge State

다. 부동전압 및 온도의 영향

그림 6은 부동충전 전압과 수명과의 관계를 나타내며, 그림 7은 온도와 수명과의 관계를 나타낸 것이다. 보통의 부동충전(13.32V/대)시 전지내에서 발생한 가스는 음극판에 흡수되어 물이 된다. 또한 전해액 고갈로 인한 용량이 저하되는 일은 거의 없으나 극판이 서서히 부식되어 수명이 다하게 된다. 이 부식속도는 온도가 높으면 빠르기 때문에 부동수명이 짧아지게 된다. 또한 충전 전류값이 크면 역시 부식속도가 빨라지게 되므로 적절한 충전전압으로 부동충전하는 것이 좋다. 축적지의 수명은 사용조건에 의하여 크게 달라지므로 충전전압, 전압의 정밀도, 주위온도 등을 충분히 유의해야 한다.

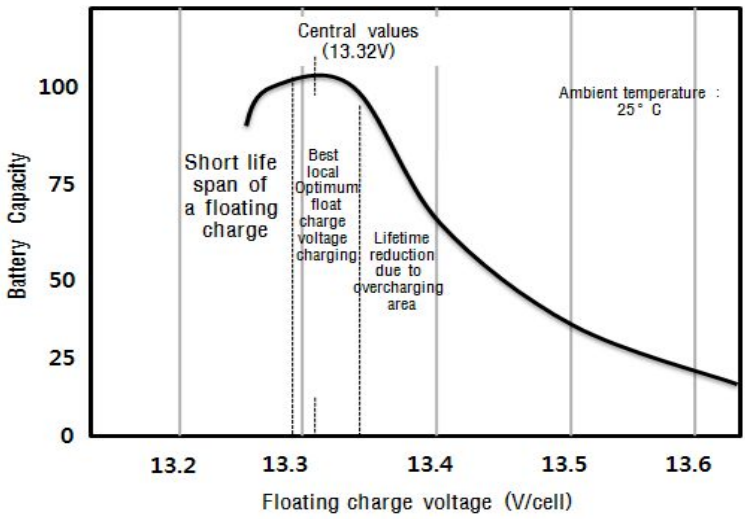


Fig. 6 The Relationship between Floating Charge Voltage and the Relationship

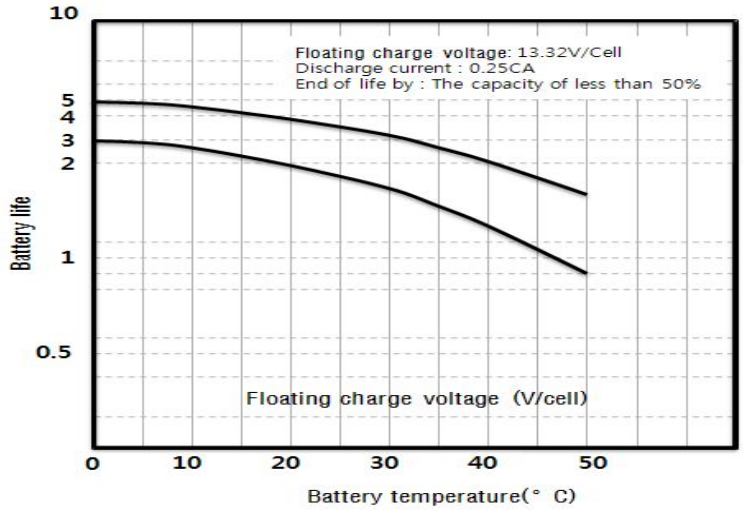


Fig. 7 The Relationship between Temperature and Lifetime

전지의 기본 특성은 소용량에서 대용량까지 완전 무누액 밀폐를 실현한 장수명 제품이며, 물보충이나 잔손질이 필요없으며 완전 무보수형 축전지이다. 표 2는 Ni-MH 전지의 적용되는 분야와 기술적 특성 및 특징에 대해 나타내고 있다.

Table 2 Application field of Ni-MH Battery

By Use	Basic characteristics	Technical Features
Small, Medium UPSA	Fully liquid sealed in Small to Large	Re-sealed type gas combined
Small Medium Communication	No need for replacement of water or Shine	Liquid supplements are not required until the end of life
Reserve Power		Terms of regulatory capacity to maintain life
Cells in replacing you	Maintenance-free batteries	Transient over-charging structure that does not explode

B. 벅 컨버터의 동작

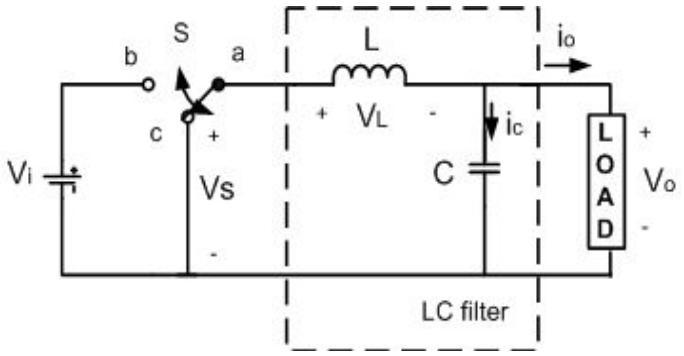
1. 직류-직류 변환기

직류-직류 변환기는 직류전압을 다른 크기의 직류 전압으로 변환하는 전력전자회로이며 출력을 제어하는 데에 많이 사용된다. 이 변환장치는 스위치모드 직류-직류 변환기로 분류되며 스위칭 전원장치 또는 스위칭 장치라고 한다.[4]

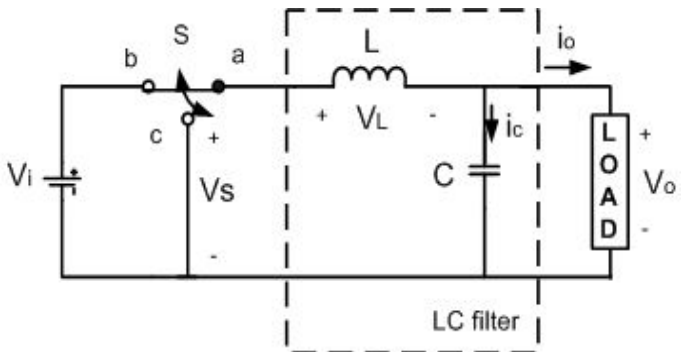
2. 벅 컨버터의 구동원리 및 구조

기본적인 DC-DC 컨버터에서 출력전압은 평균전압인 직류성분 외에 구형파의 교류성분이 포함되어 있다. 따라서 출력전원에 포함된 불필요한 교류성분을 제거하여야 한다. 교류성분을 제거하기 위한 저역통과 필터를 포함한 벅 컨버터의 기본 동작회로는 그림 8와 같다.[5]

스위치가 스위칭 할 때 인덕터 전류와 인덕터 전압은 그림 9와 같다. 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 연속전류모드이고, 인덕터 전류가 0이 되는 구간이 존재하면 불연속전류모드이다.

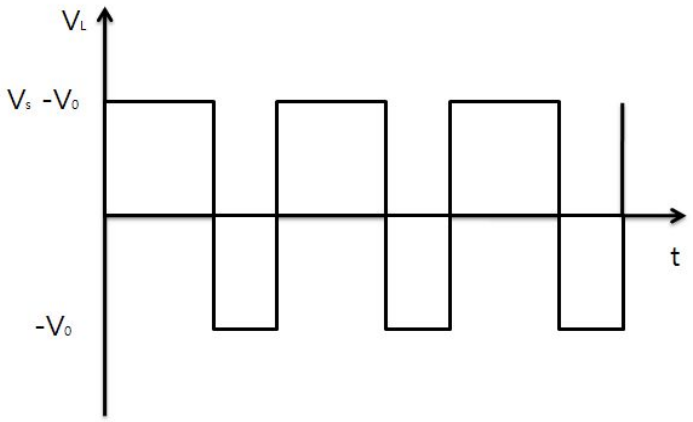


(a) $0 \leq t < DT$

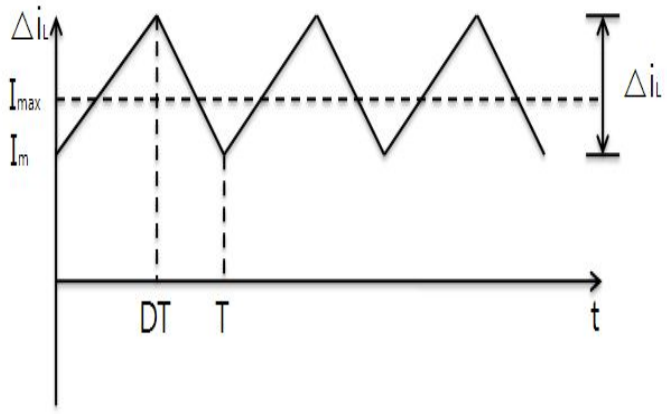


(b) $DT \leq t < T$

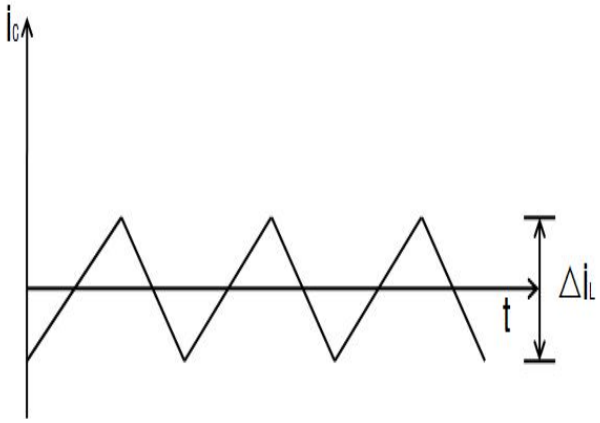
Fig. 8 The Operating Principle of the Buck Converter



(a) Inductor voltage



(b) Inductor current



(c) Capacitor current

Fig. 9 Buck Converter Basic Waveforms

전류 상승 구간($0 \le t < DT$) 에서 스위칭 주기에 대하여 스위치가 접점 b에 연결되는 구간 동안 컨버터의 등가회로는 그림 8의 (a)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 식 (1)과 같이 인덕터 전압을 구할 수 있다.

$$V_L = V_i - V_o \tag{1}$$

또한, 인덕터 전류 i_L , 전압 V_L 의 관계는 식 (2)와 같다.

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{2}$$

식 (1)과 (2)에서 인덕터에 흐르는 전류의 기울기는 식 (3)과 같다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} \tag{3}$$

정상상태에서 출력전압 V_0는 입력전압 보다 작으므로 스위치가 on 되어 입력전원과 연결되는 DT 시간동안 인덕터 전류는 식 (3)의 기울기로 증가한다. 따라서 그림 8의 (a)와 같이 스위치가 접점 b에 연결되는 순간 $t=0$에 인덕터 전류는 최소인 $I_{\min}$이며, 이때 스위치가 on 되어 접점 b에 연결되면 DT 시간동안 전류는 증가하고 $t=DT$에 최대인 $I_{\max}$가 된다. 따라서 식 (3)에서 인덕터 전류는 식 (4)와 같다.

$$i_{L(t)} = \frac{1}{L}\int_0^t (V_i - V_o)dt + I_{\min} \tag{4}$$

또한 식 (4)에서 인덕터의 최대전류 $I_{\max}$는 식 (5)와 같이 구해진다.

$$i_L(DT) = I_{\max} = \frac{1}{L}\int_0^{DT}(V_i - V_o)dt + I_{\min} \tag{5}$$

여기서 출력전압의 리플성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거되는 경우, 출력전압은 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (5)를 해석하면 DT 시간동안 인덕터 전류는 식 (6)과 같다.

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT \tag{6}$$

전류 하강 구간 ($DT \le t < T$)에서 스위치가 접점 c에 연결되는 $(1-D)T$ 시간동안 컨버터의 등가회로는 그림 8의 (b)와 같으므로 회로에 대하여 KVL을 적용시키면 인덕터 전압은 식 (7)과 같다.

$$V_L = -V_o \tag{7}$$

인덕터 전류와 인덕터 전압과의 관계는 식 (2)와 동일하므로 식 (2)와 식 (7)에서 인덕터 전류의 기울기는 식 (8)과 같이 구해진다.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_o}{L} \tag{8}$$

정상상태에서 출력전압은 식 (8)의 조건을 만족해야 하므로 항상 0보다 크다. 따라서, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c와 연결되는 순간부터 $(1-D)T$ 시간동안 그림 (2)와 같이 식 (8)의 기울기로 감소한다.

즉, 인덕터 전류는 스위치가 접점 c에 연결되는 순간 최대인 $I_{\max}$가 되며, $(1-D)T$ 시간 후 $t=T$에 최소인 $I_{\min}$으로 감소한다. 식 (8)에서 인덕터 전류 i_L은 식 (9)와 같이 된다.

$$i_L(t)=\frac{1}{L}\int_{DT}^{t}(-v_0)dt+I_{\max} \tag{9}$$

인덕터 전류의 최소값 $I_{\min}$은 식 (10)과 같이 구해진다.

$$I_{\min}-I_{\max}=\frac{-V_o}{L}(1-D)T \tag{10}$$

여기서, 출력전압은 전압 v_s의 교류성분이 필터회로에 의해서 대부분 제거 되는 경우 일정한 직류전압이 된다. 이 경우 식 (10)의 적분식을 해석하면 $(1-D)T$ 시간동안 인덕터 전류 i_L의 변동은 식 (11)과 같다.

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

컨버터의 가변 출력 전압을 정전압 제어하기 위해 본 논문에서 제안한 벅 컨버터의 듀티비 D의 범위는 $0.48\sim0.53$이며, 이 범위 내에서 항상 정전압으로 제어되어야 한다.[3]

그림 8의 (b)에서 인덕터 전류는 DT 시간동안 상승하고, $(1-D)T$ 시간동안 하강한다. 정상상태에서 전류의 상승과 하강 폭은 동일하므로 식 (4)와 식 (11)로부터 다음과 같이 출력전압의 평균값에 대한 관계식은 식 (12)와 같다.

$$\frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT - \frac{V_o}{L} \cdot (1-D)T = 0 \quad (12)$$

식 (12)를 정리하면 출력전압 V_o는 다음과 같다.

$$V_o = DV_i \quad (13)$$

따라서 벅 변환기의 출력은 입력보다 낮거나 같다.

출력전압을 유도하는 또 다른 방법은 그림 9 (a)의 인덕터 전압을 이용하는 방법이다. 주기적인 동작에서 인덕터 전압의 평균값이 0이므로 식 (14)를 얻을 수 있다.

$$V_L = (V_i - V_o)DT + (-Vo)(1-D)T = 0 \quad (14)$$

식 (14)에서 V_o를 구하면 식 (13)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 부하저항에 흐르는 전류의 평균값과 같아야 한다.[6]

$$I_L = I_R = \frac{V_0}{R} \quad (15)$$

그리고 인덕터 전류의 최대값 식은 (16)과 최소값 식은 (17)과 같다.

$$I_{\max} = I_L + \frac{\triangle i_L}{2} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2}[\frac{V_o}{L}(1-D)T] = V_o[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf}] \quad (16)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\triangle i_L}{2} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2}[\frac{V_o}{L}(1-D)T] = V_o[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}] \quad (17)$$

여기서 f는 스위칭 주파수이고 $f = 1/T$ 이다.

이상의 해석 결과를 사용하려면 인덕터에 흐르는 전류가 연속적임을 입증하여야 한다. 연속전류모드에서는 인덕터 전류의 최소값이 양이어야 하므로 식 (17)에서 최소값을 구해보면 전류의 연속 여부를 쉽게 알 수 있다. 회로에서 다이오드에 역방향 전류가 흐를 수 없으므로 식 (17)에서 구한 인덕터 전류의 최소값이 음의 값이면 불연속 전류모드이다.

식 (17)은 연속전류모드가 되기 위한 L과 f의 값을 결정하는데 사용된다. $I_{\min} = 0$은 연속전류모드와 불연속전류모드 사이의 경계이기 때문에 L_f의 최소값을 구하면 식 (18)과 (19)와 같다.[7]

$$I_{\min} = V_o[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}] = 0 \quad (18)$$

$$(Lf)_{\min} = \frac{(1-D)R}{2} \quad (19)$$

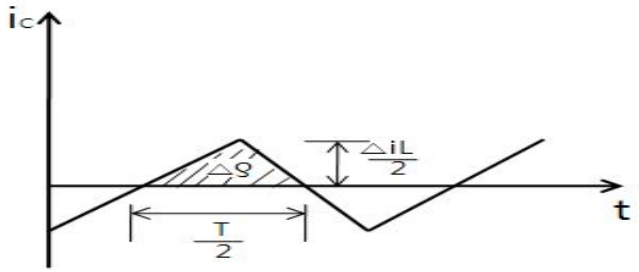
원하는 스위칭 주파수가 정해지면 인덕터 $L_{\min}$은 식 (20)과 같이 되며, 따라서 $L_{\min}$은 연속 전류모드가 되기 위한 인덕턴스의 최소값이 된다.

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (20)$$

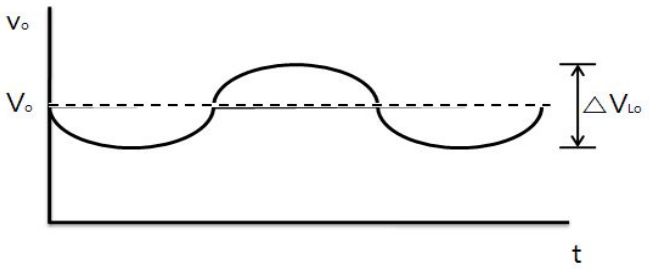
3. 출력전압의 맥동

커패시터가 매우 크다고 가정할 경우 이론적으로 출력전압이 일정하게 유지되만, 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 (21)과 같고 그림 10의 (a)와 같이 된다.

$$i_c = i_L - i_R \tag{21}$$



(a) Capacitor current



(b) Capacitor ripple voltage

Fig. 10 Capacitor Current and Ripple Output Voltage

커패시터 전류가 양의 값인 한 커패시턴스는 충전된다. 커패시턴스의 정의로부터 전하의 변화량이 시간 축 윗부분에 있는 삼각형의 면적이 되므로 출력 전압의 변동량은 식 (22)와 같다.

$$\triangle V_o = \frac{T\triangle i_L}{8C} \tag{22}$$

스위치가 열려있는 동안의 인덕터 전류의 변화는 식 (23)과 같다

$$(\triangle i_L)open = -(\frac{V_o}{L})(1-D)T \tag{23}$$

식 (23)에 식 (22)를 대입하면 식 (24)를 얻을 수 있다.

$$\triangle V_o = \frac{TV_o}{8CL}(1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2} \tag{24}$$

이 식에서 $\triangle V_o$는 출력에서의 첨두 대 첨두 맥동전압으로서 그림 10의 (b)와 같다. 맥동을 식 (25)와 같이 출력전압의 비율로 나타내기도 한다.

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

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

변환기가 이상적이라고 가정하였으므로 전원에서 공급한 전력은 부하저항에서 소모된 전력과 같아야 한다.

4. 설계시 고려사항

대부분의 벅 변환기는 연속전류로 동작하도록 설계된다. 전류가 연속이기 위한 스위칭 주파수 및 인덕터의 값은 식 (20)을 이용하여 선정할 수 있으며, 출력맥동은 식 (22)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. 수백kHz의 주파수가 사용되기도 하지만 일반적으로 스위칭 주파수는 20kHz~50kHz범위이다. 스위칭 소자의 특성이 개선됨에 따라 스위칭 주파수는 점점 더 높아질 것이다.

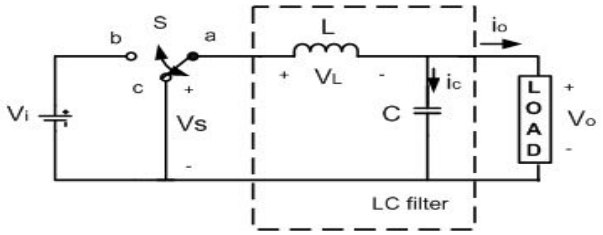
인덕터 권선의 전류정격은 실효값으로 정의되어야 하며 코어는 인덕터 전류의 첨두값에서 포화되지 않아야 한다. 커패시터는 출력 맥동을 설계명세에 규정되어 있는 값 이내로 제한할 수 있고 출력전압의 첨두값에서도 견디며 필요한 실효값 전류를 흘릴 수 있는 것으로 선정하여야 한다.

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.[8]

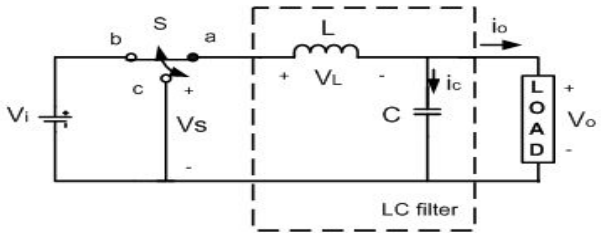
III. 실험 및 결과

A. Buck Converter 설계

설계에 사용된 전지의 경우 부하 변화에 따라 출력 전압이 변동되기 때문에 승압용 전력변환기의 최적 설계가 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 주 승압용 컨버터의 입력전압을 정전압으로 제어할 수 있는 전지의 출력전압 제어 및 출력전류를 다시 피드백 받아 제어하는 제어용 벅 컨버터를 제안하였다.[9]



(a) Switch-ON



(b) Switch-OFF

Fig. 11 The Equivalent Circuit of Buck Converter

가변되는 전지 출력전압(10~18Vdc)을 벅 컨버터를 이용하여 정전압 13.5Vdc을 제어하고 그 출력전압을 승압용 컨버터의 입력전압으로 사용한다면 승압용 컨버터의 설계를 최적화 할 수 있다. 그림 11의 (a)와 (b)는 Battery 출력전압을 13.5Vdc 로 제어하기 위한 벅컨버터의 PWM ON,OFF 신호인가시의 등가회로도를 나타내며, 표 3은 벅 컨버터의 설계 사양은 다음과 같다.

Table 3 Buck Converter Design Specification

Design specifications	
Input Voltage	$V_{in} = 17 \sim 30[V_{dc}]$
output voltage	$V_o = 13.5[V_{dc}]$
switching frequency	$fs = 20[kHz]$
duty ratio	$D = 0.5$
Inductor	$L = 330[uH]$
capacitor	$C = 1000[uf]$
output current	$I_o = 1.7 \sim 2.2[A]$

스위칭 주기 T를 구하면 식 (26)과 같고 시비율 D는 식 (27)과 같다.

$$T = \frac{1}{f} = 5 \times 10^{-5}[s] \tag{26}$$

$$D = \frac{V_0}{V_{in(\max)}} = 0.5 \tag{27}$$

주 스위치의 선정에는 스위치가 off 상태일 때 양단에 걸리는 최대 전압 $V_{DS(\max)}$, on 상태일 때 이 스위치에 흐르는 최대 전류 $I_{C(\max)}$, 전도 손실을 최소로 하는 $R_{ds(ON)}$등이 고려되어야 한다.[10]

주 스위치의 최대 전압은 입력 전압으로부터 구해지며 식 (28)과 같다.

$$V_{DS(\max)} = V_{in(\max)} = 30[V] \tag{28}$$

주 스위치의 최대 전류는 식 (29)와 같다.

$$I_{C(\max)} = \frac{I_i}{D_{\min}} + \frac{\triangle I_i}{2} = I_{\max} + \frac{\triangle I}{2} = 2.2[A] \tag{29}$$

따라서 주 스위치의 선정에는 실제적인 요소로서 서지전압 및 전류를 고려해서 주어진 값 보다 높은 정격의 소자를 선정해야 한다.

환류 다이오드 역시 최대 정격 전압 및 전류는 식 (30), (31)과 같이 구해진다.

$$V_{D(\max)} = V_{in(\max)} = 30[V] \tag{30}$$

$$I_{F(\max)} = I_{D(\max)} = 2.2[A] \tag{31}$$

이 값을 고려함과 동시에 순방향 전도 손실의 최소화, 우수한 역회복 특성 등을 만족할 수 있는 소자를 선택하여야 한다.

벅 컨버터의 출력 커패시터 용량은 식 (32)와 같이 산정하였다.

$$C = \frac{(1 - D_{\max}) V_o}{8L \triangle v_o f^2} = 1000[uF] \tag{32}$$

인덕터에 흐르는 전류는 식 (33)와 같다.

$$\triangle I = I_{o(\max)} \sqrt{1 + \frac{1}{3}(\frac{I_{o(\min)}}{I_{o(\max)}})^2} = 2.2[A] \tag{33}$$

리플전류는 $\triangle I_o$로 표시하며 일반적으로 출력 전류 I_o의 ±15% 정도로 한다. 스위칭 주기 T가 크면 인덕터 L값도 커지므로 주파수를 높여주기를 작게 하여야 한다. 그러나 Buck 컨버터에서 주파수가 너무 높으면 스위칭에서의 에너지소모가 높아지므로 PWM 주파수는 20kHz에서 50kHz로 설정하는 것이 일반적이며 본 논문에서는 20kHz로 하였다.

커패시터 C를 크게 하여 리플전압 V_o 을 작게 하여야 한다. 또한 평활용 콘덴서는 콘덴서의 등가 직렬 저항 ESR의 영향으로 리플 전압이 나타나기 때문에 임피던스 값이 낮은 고주파 정류용을 사용하는 것이 좋다.

스위치의 선정에는 스위치가 off 상태일 때 양단에 걸리는 최대전압 $V_{DS\max}$와 on 상태일 때 흐르는 최대전류 $I_{D\max}$, 그리고 전도손실을 최소로 하기위한 $R_{DS(ON)}$등이 고려되어야 한다. 그러나 실제 선정에 있어서는 서지전압 및 전류를 고려하여 IRFZ44N을 사용하였다.

환류 다이오드 역시 최대 정격전압과 전류가 고려되어야 하는데 이와 더불어 순방향 전도손실의 최소화, 우수한 역 회복 특성을 만족하는 FE6D를 사용하였다.

B. 시스템 구성

시스템 구성은 DC 전원을 마이크로프로세서의 AVR 타이머/ 카운터의 PWM(Pulse Width Modulation) 파형을 DC-DC Converter에 인가 시켜주며, 전압분압회로를 거쳐 AVR의 A/D 변환기능을 이용하여 변환된 Converter의 출력 전압의 변동을 피드백 회로를 통하여 받아 LCD 표시부에 입력전압과 출력전압을 표시하여 동작 상태를 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 베터리에 공급하여 준다.

그림 12는 AVR 마이크로프로세서를 이용한 DC-DC Buck 컨버터를 이용한 베터리 충전기의 블록다이어그램이다.

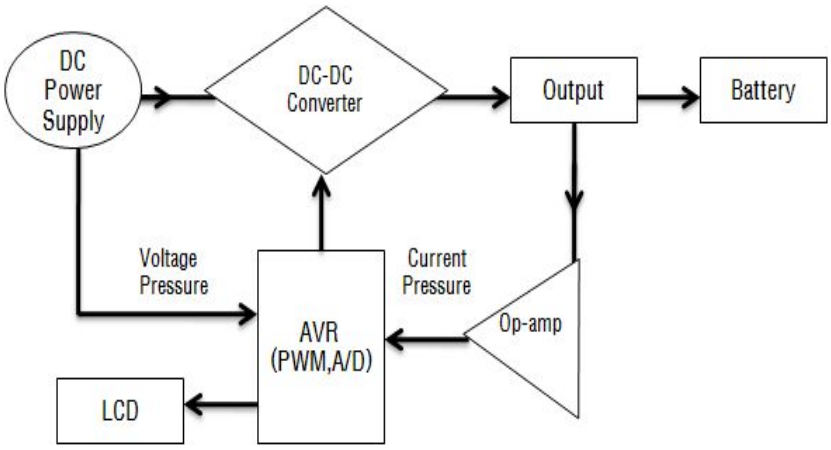
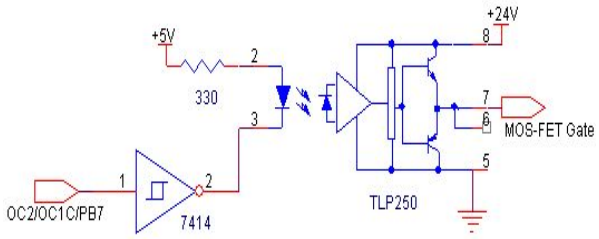
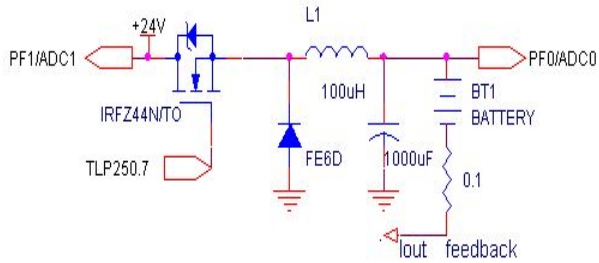


Fig. 12 DC-DC Buck Converter Block Diagram

그림 13의 (a)는 게이트 드라이브 회로도를 나타내며, (b)는 DC-DC Buck Converter의 회로도를 나타낸다.



(a) Mos-Fet Gate drive Circuit



(b) DC-DC Buck Converter Circuit

Fig. 13 Designed DC-DC Buck Converter Schematic

그림 14는 출력되는 전류값을 피드백 회로를 통하여 LM324N에서 증폭시켜준 뒤 AVR애소 AD변환기능을 이용하여 제어하는 출력전류 피드백 회로도를 나타낸다.[11]

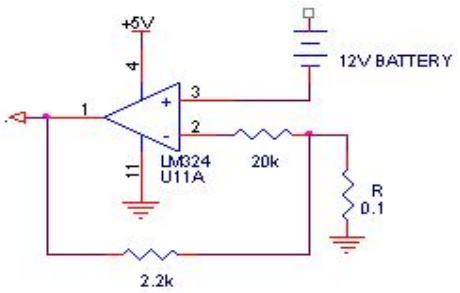


Fig. 14 Output Current Feedback Circuit

C. 제어기 구성

Buck-Converter에 사용되는 PWM신호는 ATmega128의 16비트 타이머 카운터를 이용하여 Phase Correct PWM모드로 신호를 출력하였다. PWM 주파수는 OCRnA를 TOP 값으로 하는 모드로 레지스터를 설정하였고 펄스폭은 OCR1C 레지스터값을 설정하여 제어 하였다. 출력전압의 제어는 OCR1C 레지스터를 설정하여 제어하며 전압분압회로를 거쳐 AVR의 A/D 변환기능을 이용하여 변환된 Converter의 출력 전압의 변동을 피드백 회로를 통하여 받아 LCD표시부에 입력전압과 출력전압을 표시하여 동작 상태를 확인하였다.[12]

그림 15는 설계된 ATmega128의 회로도를 나타내며, 16Mhz의 크리스탈 오실레이터를 사용하였고 PORT.C는 LCD 디스플레이를 제어하고 PORTB.7은 PWM 신호를 출력하며 PORTF.0과 PORTF.1은 Buck Converter의 입·출력 전압, PORTF.2에서 출력 전류를 입력 받아 A/D 컨버터를 통하여 디지털로 변환하여 연산한다.

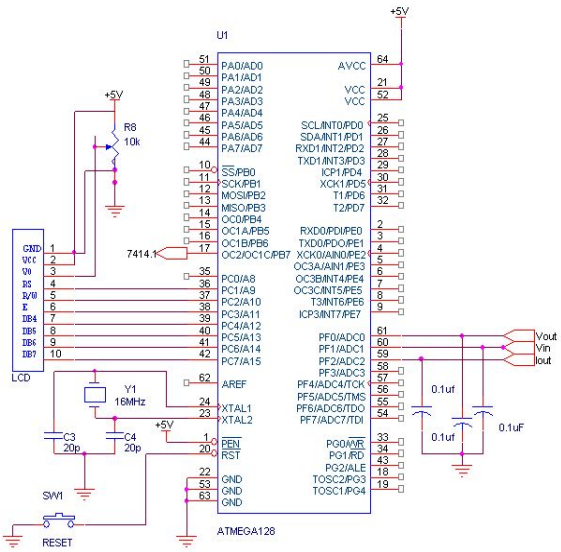


Fig. 15 Designed ATmega128 Schematic

D. 결과 고찰

그림 16은 실험에 설계된 DC-DC Buck Converter의 Proto-type의 제작 사진을 보여주며 입력전압과 출력전압을 LCD에 나타낸다.

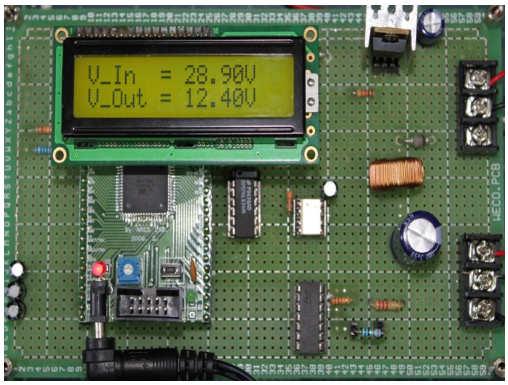


Fig. 16 Battery Charging Device

그림 17은 피드백 받은 전류값을 A/D 컨버터를 통해 일정값을 정해둠으로써 약 2A 대로 연속적으로 충전되고 있음을 보여준다.

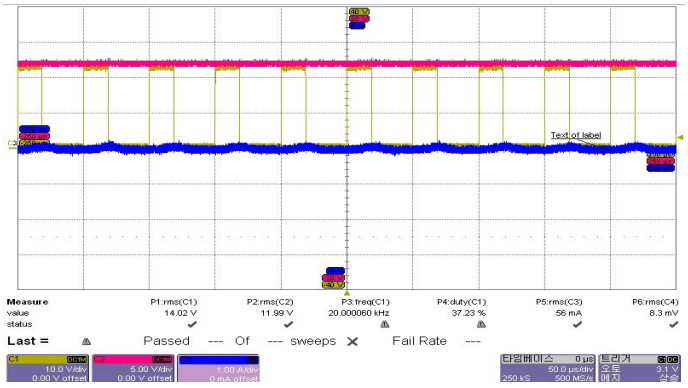


Fig. 17 Gate Signal by Constant Pulse width Modulation

그림 18, 19는 시스템 초기 구동시 펄스폭이 서서히 증가하면서 베터리에 충전되는 전류가 서서히 증가함을 나타낸다.

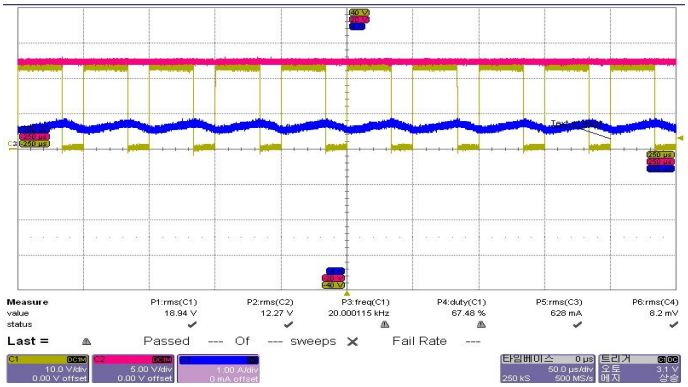


Fig. 18 Gate Signal by Variable Pulse width Modulation

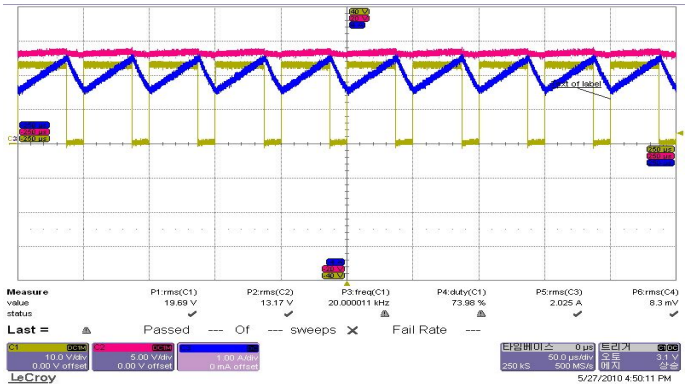


Fig. 19 Controlled Output Current and Voltage

IV. 결 론

배터리 충전 시스템의 핵심 기술인 벅(Buck)컨버터의 상당 부분은 커패시터나 인덕터등의 에너지 축적용 소자가 많이 차지하고 있으며, 이로 인해 소형·경량화에 대한 요구는 필수적이다. 하지만 에너지 축적용 소자의 소형화를 위해서는 컨버터의 스위칭 주파수를 높여야 하는데, 이러한 고주파스위칭 손실은 전이기간 동안 스위치의 전류와 전압이 중복됨으로써 나타나는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 8-bit AVR 마이크로프로세서인 ATmega128을 이용하여 내장된 A/D변환기와 타이머/카운터 기능을 이용하여 DC-DC-buck converter을 설계하였다.

Buck-converter에 사용되는 PWM신호는 ATmega128의 16비트 타이머 카운터를 이용하여 Phase Correct PWM모드로 신호를 출력하였다. PWM 주파수는 OCRnA를 TOP 값으로 하는 모드로 레지스터를 설정하였고 펄스폭은 OCR1C 레지스터값을 설정하여 제어하였다.

출력전압의 제어는 OCR1C 레지스터를 설정하여 제어하며 전압분압회로를 거쳐 AVR의 A/D 변환기능을 이용하여 변환된 컨버터의 출력 전압의 변동을 피드백 회로를 통해 LCD 표시부에 입력전압과 출력전압을 표시하여 동작 상태를 확인 하였고 정전류로 배터리 충전이 잘 됨을 확인하였으며, 또한 배터리의 충전전류는 AVR 프로그램에서 쉽게 제어가 됨을 확인하였다.

듀티비는 출력단에서 전류분압회로를 거쳐 전류값 LM324N에서 증폭시켜준 뒤 AVR에서 AD변환기능을 이용하여 제어하였고, 설계된 베터리 충전장치가 기존의 장치에 비하여 프로그램 제어인 만큼 제어값을 변경하기에 더 간편하고 스위칭 소자의 스위칭 손실이 전이기간 동안 전류와 전압이 중복되는 문제점을 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

설계된 DC-DC Buck Converter는 Battery 충·방전 제어뿐만 아닌 전기·전자 및 정보통신 기기의 전원공급 뿐만 아닌 입력전압이 가변하는 소형 독립형 태양광 발전 Battery 충·방전 제어 등에 사용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] “연료전지 기술/시장편람” 2004.

[2] “세방전지” ESseries “www.gbattery.com″

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

[3] 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.

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

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

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

[8] ″ATmega128, ATmega128L 8-bit Microcontroller″, A쓰디, Data sheet

[9] 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.

[10] 전자기술연구회, 한인환, "전원회로 설계 마스터" 기문사, 2003

[11] 김희준, 스위칭 전원의 기본설계, 성안당, 2002

[12] L. Tihanyi, Electromagnetic Compatibility in Power Electronics, IEEE Press, 1995

감사의 글

본 논문이 이루어지기까지 아낌없는 지도로 이끌어주신 지도교수님이신 조금배 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 바쁘신 가운데에도 좋은 논문이 될 수 있도록 많은 조언을 해주신 박세승 교수님, 오금곤 교수님, 모양우 교수님, 나유경 장학사님께도 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 조선대학교 전기공학과 전력전자연구실에 석사과정 신승호님, 백승학님, 장인혁님, 임지혜님에게 감사의 말씀을 드립니다.

학업에 충실 할 수 있도록 도움을 주시고 배려해 주신, 동호정보고등학교 허태영 교장선생님, 배철기 교감선생님, 허임영 부장선생님, 정상문 부장선생님, 김점순 부장선생님, 김옥이 부장선생님, 김종민 부장선생님, 김천명 부장선생님, 최성배 부장선생님, 허기주 부장선생님, 백순태 부장선생님께 감사의 말씀 드립니다.

대학원생활을 하면서 힘들고 어려웠던 시간을 함께 보냈던 곽정근 선생님, 김태익 선생님, 김보현 선생님, 양정원 선생님, 박선희 선생님, 박정현 선생님, 최옥희 선생님, 최유정 선생님, 탁덕기 선생님, 김준엽 선생님, 이헌중 선생님, 송민철 선생님, 최우석 선생님, 강주영 선생님, 한승수 선생님, 김철희 선생님, 임수현 선생님, 한선화 선생님, 김기열 선생님, 김혜영 선생님, 김형진 선생님 그리고 대학원 생활에 물심양면으로 도움을 주신 전력전자연구실 사람들 모두에게 감사의 마음을 전합니다.

대학원을 무사히 잘 마칠 수 있도록 관심과 격려를 해주신 할머니와 부모님 그리고 여동생과 어려운 여건 속에서도 남편 뒷바라지에 정성을 다해준 아내와 10월에 태어날 우리 아기에게도 고마운 마음을 전합니다.

2010년 8월

최 우 석 드림

저작물 이용 허락서

학 과	기술가정교육	학 번	20078238	과 정	석사
성 명	한글: 최우석 한문 : 영문 : Choi Woo Seok				
주 소					
연락처	E-MAIL : comssam1@hanmail.net				
논문제목	한글 :DC-DC 벅 컨버터를 이용한 배터리 충전 시스템에 관한 연구 영어 :A Study on the battery-charging system using DC-DC buck converter				

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 의사 표시가 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( ) 반대( )

2010년 7 월 일

저작자: 최 우 석 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하