

## 새로운 구조의 고성능 UPS개발에 관한 연구

박 영 산<sup>1)</sup>, 盧 彰 注<sup>2)</sup>

### A Study on the Development of High Performance Single Phase UPS with Novel System

Park Young-San, Noh Chang-Ju

#### Abstract

The state of the art UPS which is composed of simple half-bridge PWM active AC/DC Converter and half-bridge PWM inverter circuit with no electrical isolation Power stage has attracted special interest recently in computer and telecommunication systems. The UPS topology including an improved type of specific high DC voltage bus is highly cost-effective and suitable for its power conversion efficiency improvement, volumetric size and weight reduction.

This paper presents an application of Switched Mode Rectifier as a AC/DC converter and a non-electric isolated prototype of UPS circuit configuration incorporating step-down and step-up converter circuit for battery bank interface and their related specific multifunctional control strategies, which are composed of cost effective IGBT modules.

The operating principles of power conversion topologies and control strategies are described. The experimental results of a unique and high performance UPS topology with battery bank interface circuit are illustrated for 1KVA UPS application.

1) 한국해양대학교 기관공학과 석사과정 전기제어전공

2) 한국해양대학교 전기공학과 교수

## 1. 서론

컴퓨터와 각종 전자기기들은 입력전원 환경변화에 대하여 취약한 단점을 가지고 있다. 따라서 입력전원의 신뢰도 확보가 중요한 문제로 대두되었고 이를 위하여 UPS(Uninterruptible Power Supply)가 컴퓨터 및 각종 전자기기의 부속장치로써 도입되고 있다.

최근 전자응용기기의 보급확대에 따라 전원전압 이상의 영향을 받기 쉽도록 되어 있고, 그밖에 전자 개폐기나 고압 방전램프등도 포함시키면 거의 모든 수용가가 어떤 형태로든 영향을 받게 되었다. 특히 온라인 컴퓨터 응용시스템에서는 전원 이상에 의한 기능 정지의 영향이 커서 UPS가 필수적이다. 또한 은행, 증권회사 등의 온라인 시스템이나 방송기기의 전원, 공항의 관제기기의 전원, 선박의 자동항법장치, 기관실 자동화 시스템 등에 있어서 UPS는 필요불가결한 것이 되었다.

이와 같이 UPS의 중요성이 점점 증가하고는 있으나 UPS가 주장비가 아닌 부속장치로써 가격이 너무 높다거나 무게, 부피가 비대해지면 곤란하다. 따라서 기존 UPS의 단점을 보완하여 새로운 UPS를 개발하고자 하는 취지에서 본 연구가 행하여 졌다.

종래의 UPS에서는 전기적 절연을 위하여 인버터 출력측에 절연 트랜스를 사용하였고, 이 트랜스는 상용의 저주파수에서 작동이 되기 때문에 UPS의 가장 큰 문제점인 가격, 중량, 부피에서 경쟁력을 상실하게 된다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 전기적 절연단을 가지고 있지 않은 간단한 구조의 하프 브릿지형 PWM 컨버터와 인버터로 구성된 뛰어난 기능의 UPS가 요즈음 컴퓨터 및 통신시스템의 전원장치로써 특별한 관심을 끌고 있다. 그러나 축전지가 높은 DC링크단에 연결되어야 한다는 중요한 결점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 독특한 구조의 UPS를 설계하여 실질적인 측면에서 연구하였다.

UPS에 있어서 입력 전류 고조파를 제거하고 역률을 높이는 것 또한 대단히 중요하다. 따라서 입력 고조파를 제거할 수 있을 뿐만아니라 높은 역률을 얻기위한 UPS의 AC/DC 변환기로써 SMR(Switched Mode Rectifier)를 택하였다. 정류기로서 SMR의 적용과 축전지단의 양방향 컨버터를 포함한 전기적 절연을 위한 트랜스가 없는 UPS 회로구성을 나타내고 이와 관련된 제어기법을 기술 하였다.

## 2. UPS 구성

종래의 평범한 UPS회로에서는 전기적 절연을 목적으로 삽입된 트랜스로 인하여 UPS의 부피와 무게를 줄이는 것은 매우 어렵게 된다. 트랜스의 크기와 무게를 줄일수 있는 방법에는 고주파수 링크의 UPS가 있으나 이 방법은 부품수와 가격의 증가를 가져오게 된다.

따라서, Fig.1와 같은 UPS시스템을 구현함으로써 성능이 우수한 작은 크기의 UPS를 실현시키고자 하였다. 이 UPS는 간단한 half-bridge로 구성된 Active AC/DC 컨버터, 평활커패시터와 병렬로 연결된 축전지의 DC링크단 그리고 간단한 half-bridge형태의 정현파 PWM인버터 등으로 구성되어 있다. 이 독특한 전력 변환 과정의 시스템은 입력과 출력사이의 common bus line을 가지고 있어 고주파수 링크 또는 저주파수 링크를 갖춘 절연 트랜스가 필요없게 된다. 컨버터와 인버터 시스템내의 파워 스위칭 소자들은 간단한 회로 구성으로 인하여 가격이 최소화되고 2개의 IGBT모듈로써 부품이 또한 최소화 될 수 있다.

그러나 정현파 PWM인버터가 half-bridge type이기 때문에 인버터의 DC입력 전압  $V_{DC}$ 는 인버터 출력전압이  $100 V_{rms}$ 가 되기 위해서는 적어도 370V는 되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 결과적으로 이 시스템 구성은 많은수의 축전지를 직렬로 연결할 필요가 있게 된다. 이것은 Fig1와 같은 UPS 하에서는 신뢰성감소와 가격증가 때문에 해결되어야 할 중요한 문제이다.

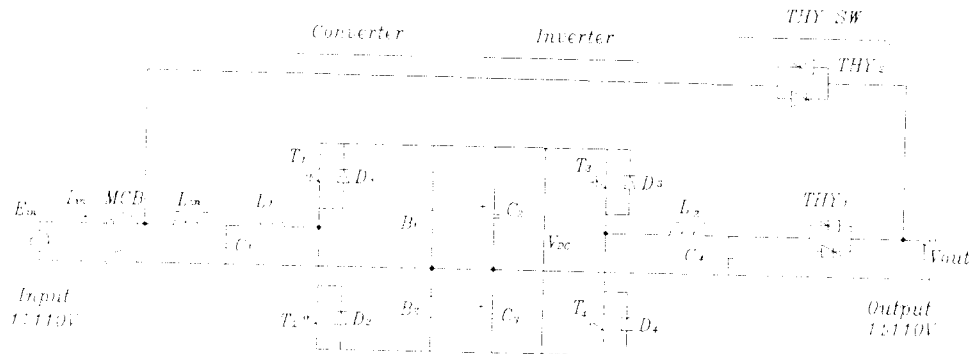


Fig.1 UPS topology with non-electrical isolation

이러한 문제 해결을 위해서 교류입력전압을 SMR(Switched Mode Rectifier)에서 승압하여 필요한 직류전압을 얻도록 하였으며, 정전시에는 2상한 요구하에서 작동되는 양방향 switched mode DC/DC converter를 갖춘 새로운 구조의 UPS회로를 설계하여 Fig.2에 나타내었다.

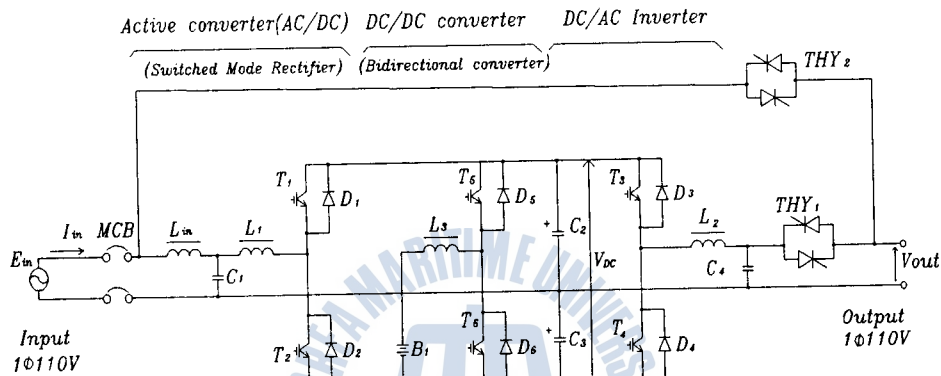


Fig.2 Circuit configuration of novel UPS with two quadrant bidirectional converter

## 2.1 Half-Bridge boost SMR원리

SMR은 동작 초기 다이오드의 전파 2배전압 정류작용으로 커패시터  $C_1$ ,  $C_2$ 에 각각  $(2\sqrt{2} E_s)/\pi$ 로 충전되어  $(4\sqrt{2} E_s)/\pi$ 가  $V_{dc}$ 에 걸리게 된다. 그후에는 교류측 인덕터  $L_1$ 의 step-up 기능에 의하여 SMR의 출력전압  $V_{dc}$ 가 입력전압  $E_{in}$ 의 2배보다 높게 유지되고 입력전압의 극성에 따라 2상한으로 운전되며 Fig.4와 같은 4가지 모드로 동작한다. 입력전원이 positive일 때는 모드 1, 2로써  $T_1$ 은 OFF되고,  $T_2$ 만 ON-OFF 스위칭하여 입력전류가 입력전류명령치를 추종하도록 하고, 입력전원이 negative일때는 모드 3, 4로써  $T_2$ 는 OFF되고  $T_1$ 만 ON-OFF 스위칭하여 입력전류를 제어한다.

모드 1과 3은 에너지축적모드로써 모드 1에서는  $E_s \rightarrow L_1 \rightarrow T_2 \rightarrow C_2 \rightarrow E_s$ 로, 모드 3에서는  $E_s \rightarrow C_1 \rightarrow T_1 \rightarrow L_1 \rightarrow E_s$ 의 회로를 통하여 교류측 인덕터  $L_1$ 에 에너지를 축적한다. 모드 2와 4는 커패시터와 부하에 에너지를 전달하는 구간으로 모드2에서는  $E_s \rightarrow L_1 \rightarrow T_1 \rightarrow C_1 \rightarrow E_s$ , 모드 4에서는  $E_s \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow L_1 \rightarrow E_s$ 의 회로를 통하여 교류측 인덕터에 축적된 에너지가 커패시터와 부하에 전달된다.

Fig.5에 2배전압 이상의 직류출력전압을 발생시키는 half-bridge SMR의 원리도를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 A와 C부분은 에너지축적모드로써 모드 1과 모드 3의 경우이고, B와 D 부분은 에너지전달모드로써 모드 2와 모드 4의 경우에 해당한다. 스위칭 동작에 의해 출력은 입력전압의 2배이상으로 커지고 있으며 출력전압리플도 진파정류로써 120Hz로 되어 필터링 하기가 쉽게 된다.

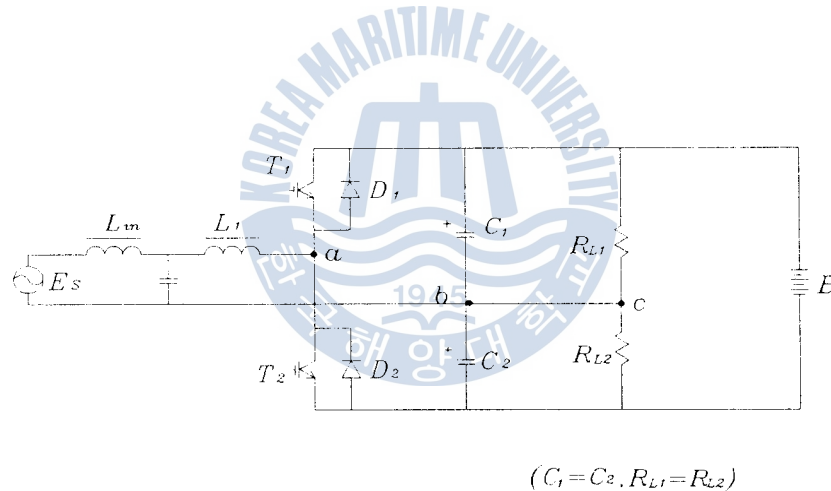
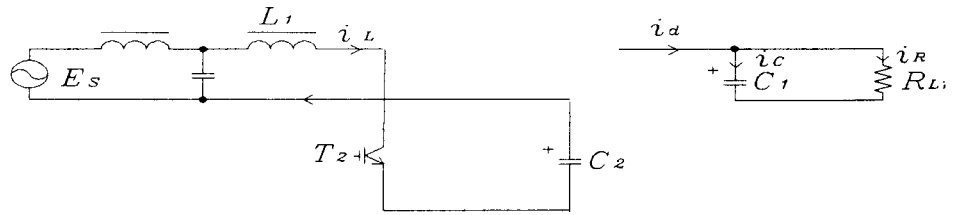
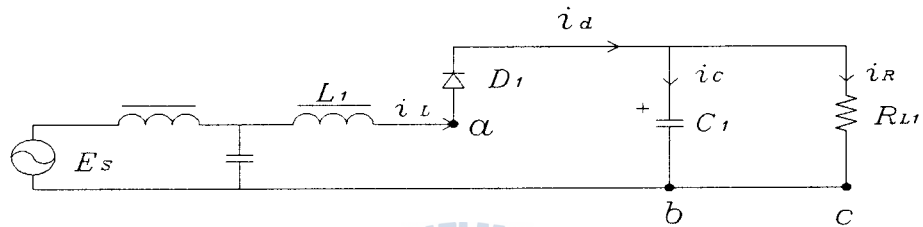


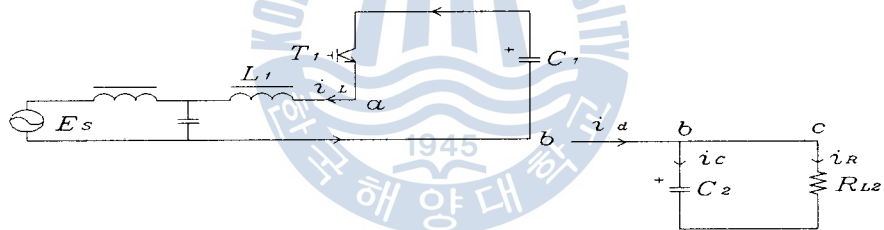
Fig.3 Schematic diagram of SMR



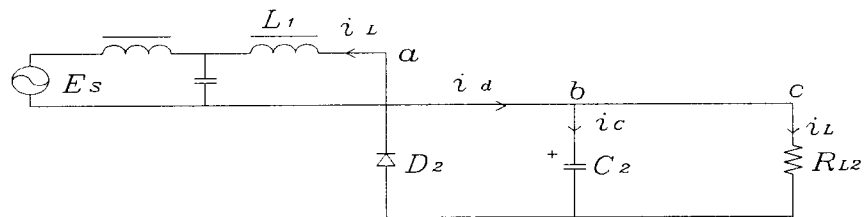
(a) mode 1



(b) mode 2



(c) mode 3



(d) mode 4

Fig.4 Operation mode of SMR

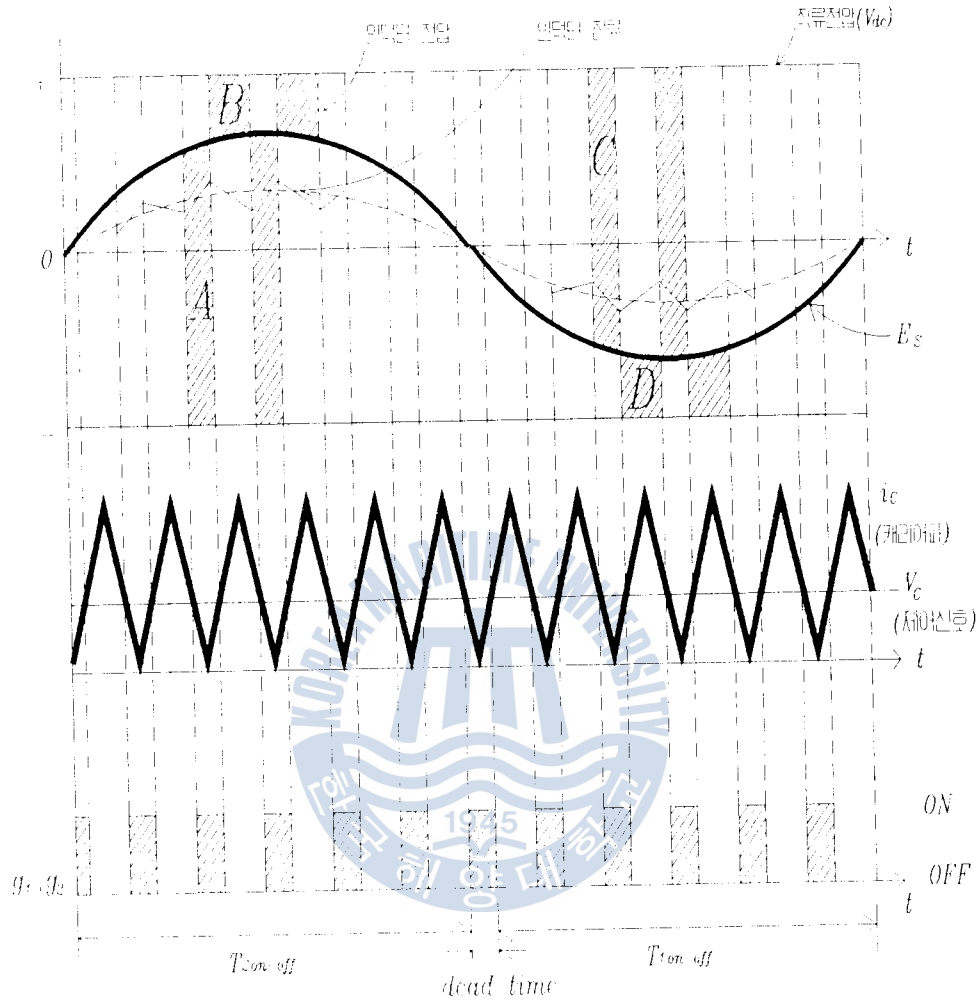


Fig.5 Principle of half-bridge boost SMR

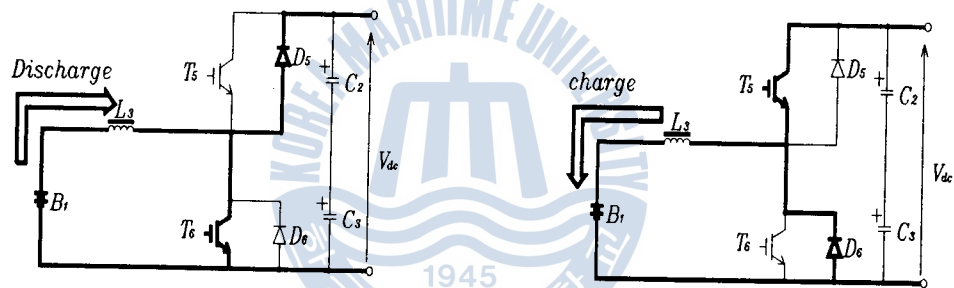
## 2.2 Bidirectional converter

고전압 축전지 링크단의 분배 해결을 위해서 2상한 요구하에서 작동되는 양방향 switched mode DC/DC converter를 갖춘 새로운 UPS 회로구상을 Fig.2에 나타냈다. Fig.2에서 축전지는 양방향 컨버터를 통해 정현파 half-bridge inverter에 연결된다. 양방향 컨버터회로는  $T_5, T_6, D_5, D_6$  그리고  $L_3$ 로 구성된다.

AC 상용전원이 계속 공급되고 있을 경우에는 Fig.6(b)와 같이 step-down 컨버터로써 이 회로의  $T_5$ ,  $L_3$  그리고  $D_6$ 이 동작하게 된다. 20KHz로 동작하는  $T_5$ 의 듀티비를 적당히 조절하여 일정전압 일정전류로 축전지를 충전한다.

한편, AC 상용전원이 갑자기 정전되었을 경우에는 Fig.6(a)와 같이 step-up 컨버터로써 이 회로의  $T_6$ ,  $L_3$  그리고  $D_5$ 가 동작한다. 20KHz로 동작하는  $T_6$ 의 듀티비를 적당히 조절하여 370V의 안정된 DC전압을 인버터에 공급한다. 결과적으로 이러한 시스템구성으로 인하여 축전지의 전압을 낮출 수가 있게된다.

$T_5$ ,  $T_6$ ,  $D_5$ 와  $D_6$ 는 그 소자를 가진 한 IGBT 모듈로 구성될 수 있고 이것은 쉽게 설치될 수 있다. 6개의 소자가 내장된 IGBT 모듈을 사용하면  $T_1 \sim T_6$  그리고  $D_1 \sim D_6$  모두 하나의 IGBT 모듈로 가능하게 된다.



(a) Operation as step-up converter (b) Operation as step-down converter

Fig.6 Operation of bidirectional converter

### 3. 전류모드제어 실행

통상의 step-up converter에서는 출력전압만을 제어하는 전압모드제어를 행하였으나 이러한 제어에서는 저류를 제어할 수 없어 UPS 부하가 비선형 부하일때  $L_3$ 의 전류파형은 큰 피크전류를 포함한 펄스 형태가 된다. 따라서 인덕터 포화방지를 위해 큰 전류용량의 인덕터 사용이 요구 되어지고 그것은 크기와 무게 그리고 가격의 상승을 가져오게 된다.

이러한 문제 해결을 위해서 Fig.8와 같은 전류모드제어회로를 채택했다. DC 출



력전압  $V_o$ 는 기준전압  $V_{ref}$ 와 비교되고 그 에러신호  $i_c$ 는 인덕터전류와 비교되어 PWM신호를 얻게 된다.

본 실험에서는 최대한 소자를 줄여 간소화 하기위해 전류모드제어용 전용IC를 사용하여 전류모드제어를 행하였으며 그 원리는 Fig.9를 보면 쉽게 알 수 있다. 일정 주파수의 클럭으로 스위치  $T_s$ 를 도통시키고 인덕터전류  $i_s$ 가 설정 값에 도달한 순간에 차단시키는 제어방법으로써 최대 출력전류가 제어전류에 의해 직접 결정되므로 제어전류  $i_c$ 의 최대값을 제한함으로써 인덕터의 최대전류를 직접 제어할 수가 있다. 제어신호  $i_c$ 를 발생시키는 에러증폭기는 비교적 낮은 응답을 가지므로 제어신호  $i_c$ 는 거의 리플성분이 없는 DC전압이다. 이러한 이유로 인덕터  $L_s$ 의 전류 형태 또한 저주파수 리플을 거의 가지고 있지 않은 직류 형태이다.

전류모드제어에 있어서 한가지 주의할 점은 2개의 궤환루프중에서 전류를 검출하여 비교기의 입력으로 주어지는 내부 궤환루프에는 시비율의 크기에 관련하여 불안정한 영역이 존재한다는 것이다.

이러한 불안정성을 해결하는 방법으로써 기울기가  $m$ 인 램프파형을 Fig.10에서와 같이  $i_c$ 에 중첩시켜 준다.

그러면  $\Delta I_i = \frac{m_2 - m}{m + m_1} \Delta I_0$  와 같은 관계식이 성립하게 되고, 안정램프의 기울기  $m$ 을  $m > \frac{m_2 - m_1}{2}$  으로 택하여 주면 불안정 현상은 제거되고, 특히  $m=m_2$ 인 경우에는 한 주기 후의  $\Delta I_i$ 이 "0"이 된다.

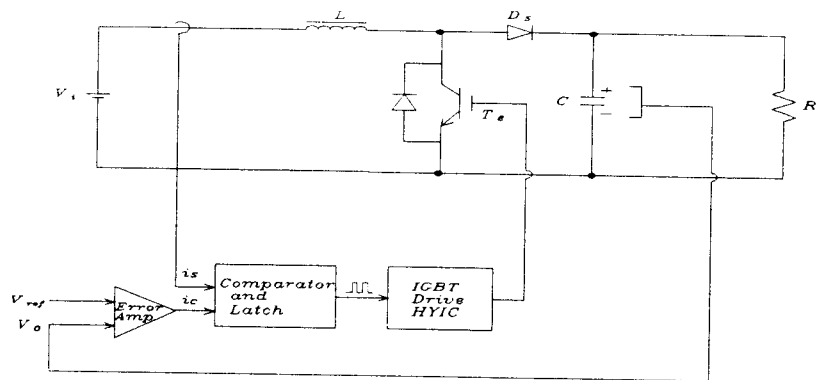


Fig.8 Current mode control

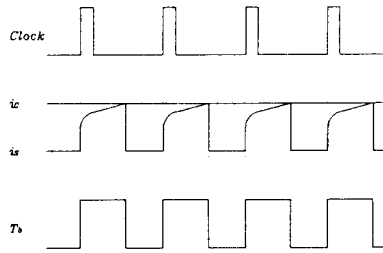


Fig.9 Principle of current mode control

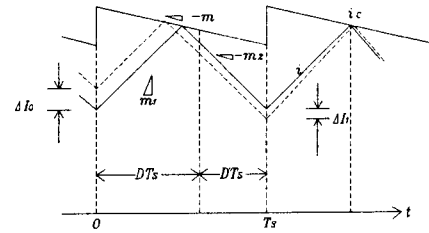


Fig.10 Slop compensation in current mode control

#### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig.11은 dead-time을 고려한 상하 두 IGBT의 게이트 트리거 파형을 나타내고 있으며, Fig.12은  $T_3$ ,  $T_4$ 의 게이트 트리거 파형을 나타내고 있다. Fig.13은 SMR 입력전압 및 전류파형을 나타낸다. 전류파형이 거의 입력전압파형과 같은 정현파를 유지하고 있으며, 역률 또한 대단히 높다는 것을 확인할 수 있다. Fig.14은 SMR 입력 AC전압과 직류출력전압을 나타내고 있으며, AC입력 실효치 2배 이상의 직류출력이 얻어짐을 알 수 있다.

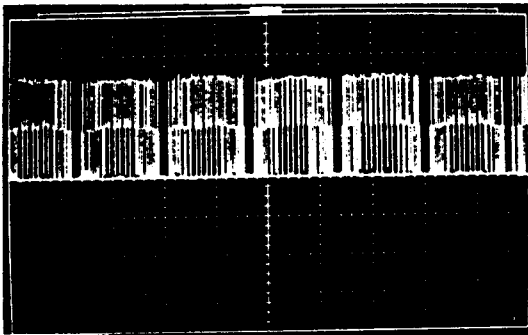


Fig.11 Output waveform of dead time

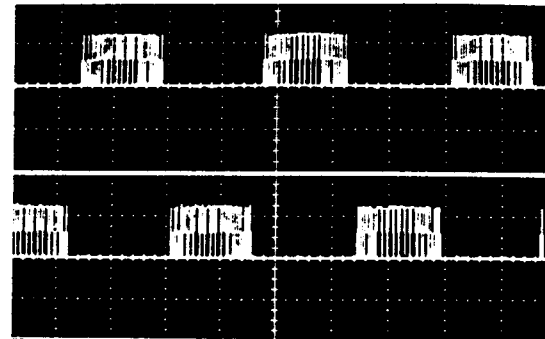


Fig.12 Trigger waveform of gate

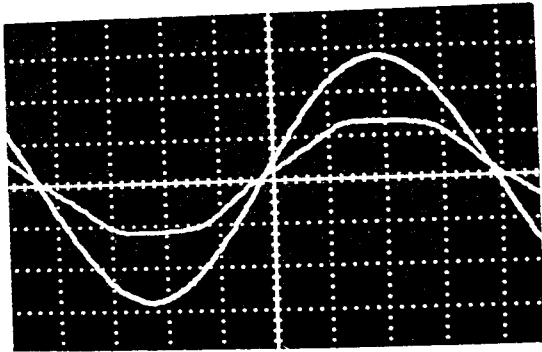


Fig.13 Input voltage & current waveform of SMR

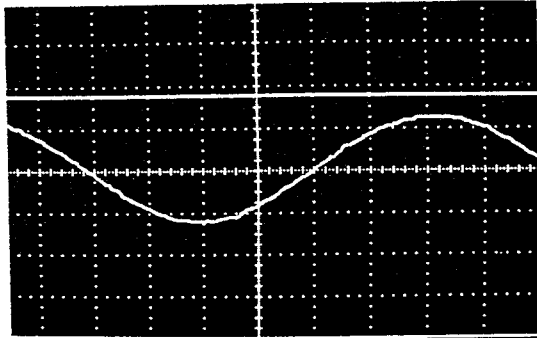


Fig.14 Input & output voltage waveform of SMR



이상과 같이 새로운 UPS를 설계, 제작하여 수행된 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. Half-bridge SMR을 구현함으로써 최소의 스위칭소자로 비용을 절감할 수 있었으며 PWM 스위칭기술을 통하여 입력전압 2배 이상의 원하는 출력을 얻을 수 있었다.
2. 전압모드제어와 전류모드제어를 동시에 실행함으로써 입력전류를 입력전압과 동일한 정현파로 유지할 수 있었으며 고역률 PWM제어를 통하여 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.
3. Bidirectional converter를 통한 충전지 충·방전을 동시에 행할 수 있으며 승압 컨버터를 통하여 충전지 수의 증가 없이도 원하는 높은 출력전압을 얻을 수 있었다. 또한 전류모드제어를 통하여 인덕터에 흐르는 전류를 제어함으로써 인덕터 크기를 줄일 수 있음을 확인하였다.

4. 고속의 스위칭소자인 IGBT를 사용함으로써 PWM주파수를 높여 출력리플을 최대한 감소시킬 수 있으며 따라서 평활용 커패시터 크기를 줄일 수 있었다.

5. 정류기와 승압 컨버터 부분에 IGBT와 역병렬로 연결된 다이오드를 스위칭 속도와 부합하도록 고속용으로 대치시킴으로써 6 Module IGBT 사용의 가능성을 확인하였다.

본 연구는 트랜스가 없는 새로운 구조의 UPS 개발을 위한 정류기 및 양방향 컨버터를 중심으로 행하여 졌으며 인버터부의 연구가 더 진행되고 정류기, 양방향 컨버터 그리고 인버터를 동시에 one-chip으로써 구현할 수 있는 방법을 연구하여 제어를 용이하게 하고 UPS의 크기, 중량 및 가격의 최소화를 강구해야 겠다.



## 참 고 문 헌

1. C. S. Lee and E. K. Teoh "Uninterruptable power supply for a computerised on-line system" IEEE, pp1813~1818, 1989
2. OHM 편집부/朴漢宗 "UPS도입, 활용 매뉴얼" 성안당.
3. F. D. Dawson, R. Bonet "High performance single chip gating circuit for a phase controlled bridge" EPE Achen, pp1203~1206, 1989
4. G. H. Pfitscher "A microprocessor control scheme for naturally commutated thyristor converter with variable frequency supply" IFAC, pp431~435, 1983
5. B. T. Doi, J. C. Salmon, J. W. Dixon and A. B. Kulkarni "A 3-phase controlled current PWM converter with leading power factor" IEEE-IAS Annual meeting, Tronto, pp1008~1014, Oct. 1985
6. Min-Ho Park, Jin-Wo Lee and Jae-Ho Choi "Analysis and design of PWM-VSC for reactive power control" Proc. of ISPE, pp221~225, May, 1989
7. 金熙接 "스위치모드 파워 서플라이" 성안당.
8. "Power electronics" JOHN WOLET & SONS, INC.
9. Motorola linear/interface ICs device data. pp3-488 ~ 3-500
10. 과학기술 정보연구소 "전력전자 회로와 인버터 설계기술 및 응용"
11. Katsuya Hirachi, Makoto Sakane, Tomoki Matsui, Akira kojima and Mutsuo Nakaoka "Cost-effective practical development of high performance and multi functional UPS with new system configurations and their specific control Implementations" IEEE, 6/95, pp480~485
12. Katsuya Hirachi, Makoto Sakane, Takanori mii and Mutsuo Nakaoka "A feasible high-performance single-phase UPS incorporating switched mode rectifier with high-frequency transformer link" Proceeding ICPE'95. SEOUL, pp194~199
13. "パワー, デバイス 應用百科" March. 1996. トランジスタ技術
14. 尹炳道, 萬靖仁, 鄭載倫, 金玫會, 車得根 "電力電子" 輔成閣
15. 백수현, 홍순찬, 김희준 "전력전자공학" Prentice hall/善重堂
16. 김재현 "회로설계모음집" 도서출판 세운.

