

PWM 제어기를 사용한 4상한 전원공급기

김 윤식⁺, 이 성근⁺⁺, ⁺⁺⁺ 하 기만

Four Quadrant Power Supply Using PWM Controller

Y.S Kim⁺, ⁺⁺ S.K Lee and Kiman Ha⁺⁺⁺

Abstract : In this paper, four quadrant CBPS(Compact Bipolar Power Supply) which development and study using universal PWM controller. The CBPS has 24V DC-link voltage, +/-5A output current, 50kHz switching frequency and 30Hz full load bandwidth using FET device. Proposed system has two independent PWM controllers for each full-bridge switch leg drive and PI control loops for current regulations. It is shown experimental results that good step response of the current output.

Key words : CBPS : Compact Bipolar Power Supply, FET: Field-Effect Transistor

1. 서 론

PWM 제어기를 사용한 전류 및 전압제어는 외부 제어 회로를 최소화 할 수 있고 On-chip에 직접 장착 되기 때문에 외부 노이즈의 영향을 최소화 시킬 수 있다. PWM제어기를 사용한 응용 범위는 매우 다양하다. 특히 컴퓨터의 스위칭전원, DC 드라이브, 충전기 그리고 각종 산업용에 사용되는 DC 전원장치들에 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 2개의 독립적인 PWM제어기를 사용하여, 부하단에 (+)방향의 전류와 (-)방향의 전류를 공급할 수 있는 구조의 전류형 PWM 제어기를 개발 하였다. Hysteresis 전류제어 방식은 마그네트의 인덕턴스 값과 Hysteric band에 의해 스위칭 주파수가 결정되기 때문에 출력 필터를 사용하기가 어려우며 band-width가 낮다. 필터가 없을 경우 스위치의 스위칭 주파수의 harmonic noise가 그대로 부하로 결합되기 때문에 magnet field의 특성이 저하되는 특성이 있다. 또 마그네트의 인덕턴스가 클 경우 스위칭 주파수가 낮아지는 단점이 있다. 또

하나의 방법은 삼각파 비교 방법인데, 삼각파와 기준 전압을 비교하여 PWM을 발생시키는 방법이 사용되고 있다. 이 방법은 외부에 R과 C를 사용한 삼각파 발생기와 비교기 그리고 보호회로 등이 필요하기 때문에 회로가 복잡해지는 단점이 있다. 본 연구는 전류 모드 PWM전용 제어기인 UC3856 Chip을 사용하여 제어회로를 간소화시킬 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 또 +/- 전류를 독립적으로 제어할 수 있는 방법에 대해 논하고자 한다. PWM 전용 제어기는 내부에 오실레이터와 비교기 그리고 OP-AMP 등을 내장 하고 있기 때문에 회로를 간소화 시킬 수 있는 장점이 있다. 제안된 제어기는 +/-5A, 24V 용량과 50kHz의 스위칭을 하며 출력 측에 L-C low pass 필터로 구성되어 있다. 본 논문에서는 Analog PI 제어 회로와 PWM 전용 제어기를 사용한 4상한 양방향 전류전원공급기의 하드웨어 및 제어기 그리고 다양한 시험 결과에 대해 논하고자 한다.

⁺김 윤식(국립한국해양대학교 전기전자공학부),E-mail:benkys@mail.hhu.ac.kr

⁺⁺ 이 성근(국립한국해양대학교 전기전자공학부),E-mail: sglee@mail.hhu.ac.kr

⁺⁺⁺하 기만(국립한국해양대학교 대학원 전기전자공학부/포항가속기연구소),E-mail:hkm@postech.ac.kr

2. 하드웨어 구성

2.1 Power Supply Topology

그림 1은 FET 스위치를 사용한 전류 제어형 H-Bridge 하드웨어 구조를 보여주고 있다. FET 스위치 전단의 DC 공급전압은 AD/DC 스위칭전원을 사용하였다. FET는 IXYS사의 IXFK180N085를 사용하였고, 출력 필터는 100uH의 Toroidal 코어를 사용 하였다. Feedback loop는 전류 되먹임과 전압 되먹임을 사용 하였다.

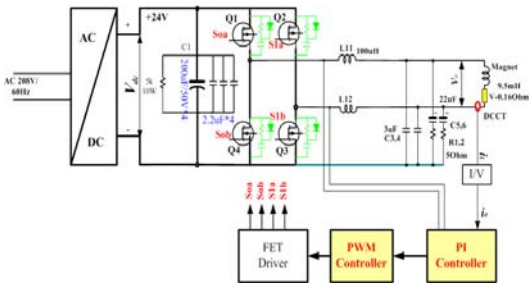


Fig. 1 The H-bridge four quadrant power supply

2.1.1 하드웨어 사양

표 1은 제안된 전류형 전원장치의 하드웨어 사양을 보여주고 있다.

Table 1. The Specifications of PWM PS

Parameters	Specifications
Output Voltage/Current	24V, +/-5A
Load inductance	24mH @1kHz,
Operating quadrant	4Q
Stability(0s to 60sec)	+/-2.5ppm
Filter Cut-off frequency	1kHz
Switching frequency	50kHz PWM

2.1.2 PWM 발생기

그림 2는 FET H-bridge 의 4상한 스위칭을 하기 위해 사용한 PWM 제어기인 UC3856의 내부 구성도를 보여주고 있다. 주요 기능으로는 저전압 보호, Soft start, clock 동기화, 오실레이터, 전류 제한기, 비교기, OP-AMP 등의 하드웨어 기능이 하나의 Chip에 내장되어 있다.

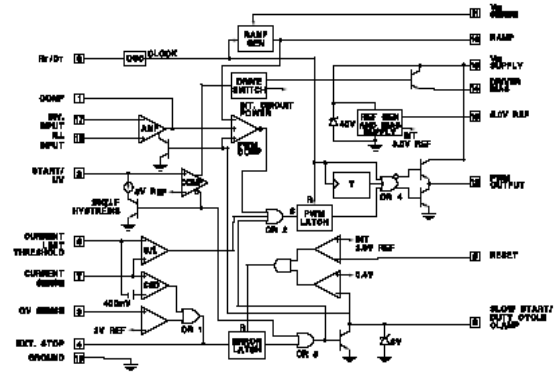
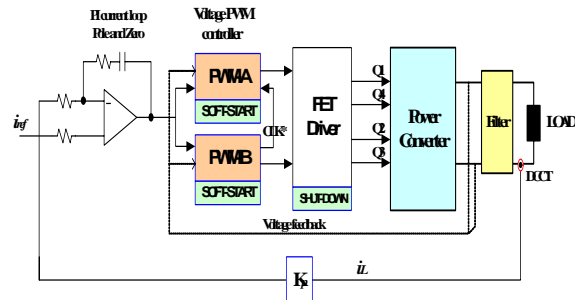


Fig. 2 Block diagram of UC3856 PWM controller[2]

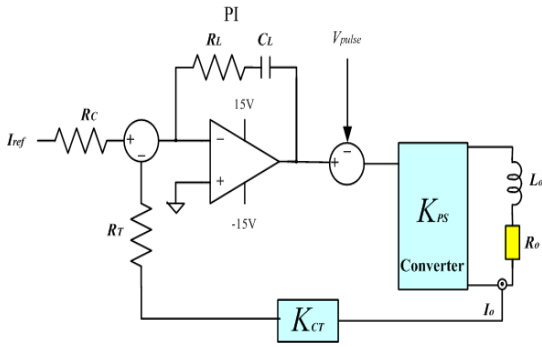
3. 제어기 구성

3.1 제어기

그림 3의 (a)는 전원장치의 전류 제어 loop를 보여 주고 있다. 특징으로는 PWM 제어기인 UC3856를 2개를 사용하였다. (+)방향과 (-)방향의 H-bridge를 제어하기 위해 독립적인 PWM 제어기가 동작하는 구조이다. 그림 (b)는 전류모드 제어계의 자세한 구성을 보여주고 있다. 전류제어는 PI에 의해 slow로 동작하며, 전압모드 feedback은 매 pulse마다 전압의 변화를 감지하여 빠르게 P 모드로 동작하여 출력전류를 안정화 시킨다.



(a)Block diagram



(b)Schematic diagram

$R_c, R_r=20K$, $R_t=51K$, $C_L=0.1\mu F$, K_{Cr} is transducer gain, K_{ps} is converter gain

Fig. 3 PI controller for current control loop

4. 시험 결과

4.1 하드웨어 시험 결과

전류형 4상한 전원장치의 시험을 위해서 사용한 계측기는 여러가지 파형측정을 위해 TDS664A 오실로스코프와 주파수 특성 측정을 위해 Agilent사의 35670A Dynamic Signal Analyzer를 사용하였다. 그림 1에서 제안된 회로를 기반으로 DC-link 24V, 출력전류 +/-5A, $L=100\mu H$, $C=2\mu F$, Load=24mH로 구성되어 특성 시험을 하였다. 그림 4는 제작된 3U size의 전원장치의 실물을 보여주고 있다.



Fig. 4 Four quadrant CBPS

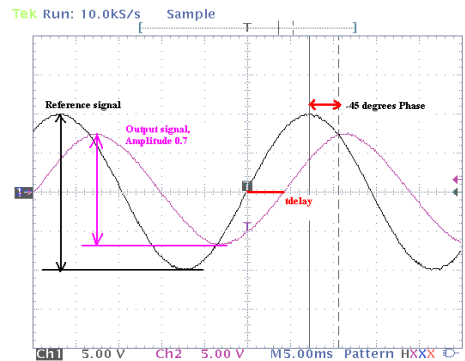
4.1.1 Amplitude response analyze

그림 5의 (a)는 Sine 파형을 기준 전압 으로 공급

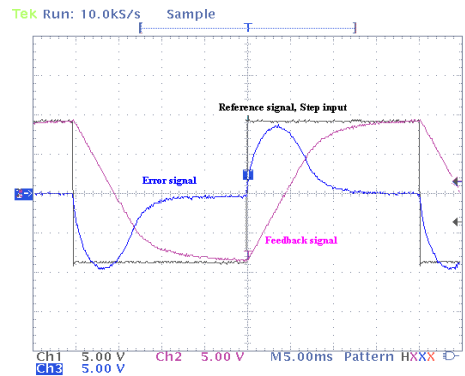
하였을 때 출력전류가 -3dB 부근에서 부하측에 흐르는 전류의 반응을 보여주고 있다. Amplitude Gain은 식 1과 같이 계산할 수 있다. 이때 control loop의 bandwidth는 35Hz임을 알수 있다.

$$\text{Gain} = 20 \cdot \log(14V/20V) = -3.1\text{dB} \quad (1)$$

위상(Phase)은 입력신호와 출력신호의 지연시간, 입력주파수 그리고 360도를 곱한 값으로 구할 수 있다. 그림 5의 (b)는 구형파 신호를 입력으로 하였을 때 부하전류의 반응과 error 증폭기의 지령전류와 feedback 전류의 error 값을 보여주고 있다.



(a) Sine input and output current response (-3dB 34.48Hz)

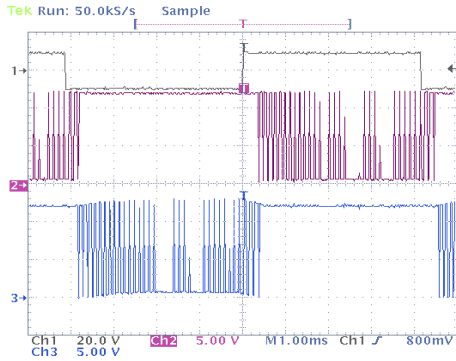


(b) Step input, output and PI error (24.75Hz) 1V/0.5A

Fig. 5 Step response measurement

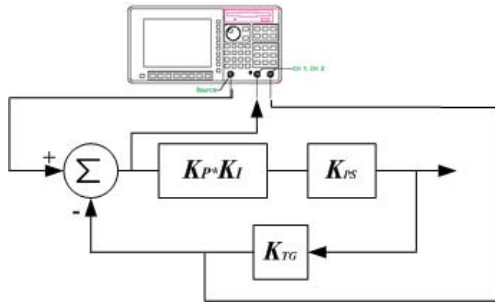
그림 6은 120Hz의 구형파 기준전압을 인가하였을 때 (+)(-)영역에서 2개의 PWM 제어기에 발생하는 파

형을 보여주고 있다.

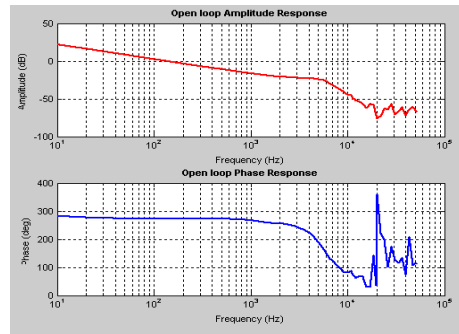


CH1. Step Input, CH2. A PWM, CH3. B PWM
Fig. 6 PWM waveform(120Hz input)

그림 7은 제어기의 open loop 특성을 측정하기 위한 구성과, 측정된 신호의 크기와 위상을 보여주고 있다. 35670A의 source단에서 Sin sweep 신호를 발생시켜 제어기의 기준으로 인가하여 제어기의 PI error 전압과 feedback 신호 측정하여 open-loop 특성을 측정 하였다[3]. 이 그림 (b)의 측정 그래프에서 신호감쇄 -3dB에서 주파수는 190Hz로 측정이 되었다.



K_p, K_i is PI parameters, K_{CT} is transducer gain,
 K_{ps} is converter gain
(a) Configuration for measurement



(b) Amplitude(Upper) and Phase(Lower)
Fig. 7 Open loop response measurement

4. 결 론

본 연구에서는 Universal PWM 제어기를 사용하여 양방향 모드로 전류 제어 구조의 제어기 설계와 Converter의 시험 결과에 대해 논하였다. 시험에서는 구형파와 사인파 기준전압을 인가하여 step response와 open loop response를 측정하였다. 제안된 PWM Chip과 PI의 제어기가 잘 동작하였고, 2개의 독립적인 PWM 제어기를 사용한 결과 +/- 영전류 (zero current) 부근에서 전류제어가 잘 이루어 졌으며 제어기의 안정성을 확인 할 수 있었다.

후 기

PWM 제어기를 사용한 전류제어형 PS 구조를 기본으로 FET와 Drive 그리고 입력 출력 필터를 바꾸어 대용량 스위칭 전원장치에 대한 연구가 필요하다. 또 입력전압 역률개선(PFC)에 대한 연구를 병행하여 전원의 효율을 높이는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1]Ned Mohan, etc, Power Electronics Converters, Applications, and Design", pp192-194, JOHN WILEY & SONS, INC. 1995
- [2]<http://focus.ti.com/lit/an/slua150/slua150.pdf#search='UC3856>
- [3]Agilent 35670A Operator's Guide