

데이터 병렬루프를 가지는 사이리스터 컨버터의 PID 점호각 제어

李在成*, 張珍錫**, 秋榮培***, 李東熙†

Firing Angle Control of Thyristor Converter using PID Controller with Parallel Data Loop

Jae-Sung Lee, Jin-Seok Jang, Young-Bae Choo and Dong-Hee Lee

요 약

본 논문에서는 직류 전력을 공급하기 위한 사이리스터 컨버터의 출력 응답특성을 개선하기 위해 데이터 병렬 루프를 가지는 PID 제어 방식을 제안한다. 제안된 방식에서 사이리스터 컨버터의 점호각은 부하전류와 지령전압에 따라 결정된 점호각을 제어기와 병렬로 연결된 데이터 루프에서 발생하고, 이 점호각에 의해 발생하는 출력전압의 오차를 PID 제어기에서 보상하여 제어하는 방식이다. 제안된 방식의 실제적인 적용에서, 부하전류에 의해 병렬 데이터 루프의 점호각이 급격하게 변동하는 것을 억제하기 위해 간단한 디지털 저역통과 필터를 통하여 부하전류와 지령전압의 크기에 따라 룩-업 테이블 방식의 점호각이 결정되도록 설계하였다. 제안된 방식은 50[A]급의 사이리스터 컨버터 실험을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents a firing angle controller of a thyristor converter for DC power supply using PID controller with parallel data loop to improve the dynamic response. The proposed parallel data loop for firing angle controller of 3-phase semi-converter, generates pre-measured firing angle according to reference voltage and load current. With the approximated firing angle according to operating conditions, the output voltage can fast keep the reference value with small voltage error. And the PID controller compensates the output voltage error from the firing angle of parallel data loop. In order to reduce the sudden changing of the data from current ripple, a simple digital low pass filter is used to determine the output data. The proposed control scheme is verified by the experimental test of a practical 50[A] grade thyristor converter system.

Key Words : Thyristor Converter, PID controller with Parallel data loop

1. 서 론

전력 장치에 전원을 공급하는 시스템은 전력의 품질

을 향상시키기 위하여 고주파 스위칭을 하는 IGBT 또는 FET 소자를 적용한 컨버터 시스템으로 점점 변화하고 있다. 하지만, 높은 전류를 공급하는 전력 공급장치나, 선박 및 차량의 추진 장치 또는 UPS의 배터리 충전장치 등에는 여전히 신뢰성이 높은 사이리스터(Thyristor)를 적용한 전력장치가 많이 적용되고 있다^[1-3]. 특히, 배터리를 사용하는 장치에서는 배터리 자체가 커패시터의 전압 필터 역할을 수행하게 되므로, 사이리스터를 사용하는 전력장치의 전압리플을 크게 감

†교신저자 : 정회원, 경성대 전기전자메카트로닉스 조교수

E-mail : leedh@ks.ac.kr

*정회원 : 동영전기(주) 기술연구소 선임연구원

**정회원 : 동영전기(주) 기술연구소 소장

***정회원 : 거제대학 선박기술계열 부교수

접수일자 : 2009. 4. 28

1차 심사 : 2009. 5. 21

2차 심사 : 2009. 5. 28

심사완료 : 2009. 6. 9

소시키는 효과가 있으므로 선박의 배터리 충전장치는 대부분 사이리스터 컨버터를 많이 적용하고 있다^[4-6].

사이리스터를 사용하는 전력장치는 점호각의 위치에 따라 출력 전압을 제어하는 방식을 적용하게 되고, 이때 점호각은 입력 교류의 한 주기에 대하여 한 번의 스위칭만 가능하므로, 제어의 응답성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 고주파 스위칭이 가능한 IGBT나 FET 시스템에서는 디지털 제어기의 제어 주기를 짧게 설계하여, 출력 전압 및 전류의 응답성을 높일 수 있지만, 사이리스터 컨버터에서는 다음 점호각이 결정될 때까지는 현재의 점호각에 의해 출력전압이 형성되므로, 출력전압의 응답성을 높이기 위해서는 점호각의 결정이 매우 중요한 요소가 된다. 특히, 부하가 급격히 변동하는 경우에 있어서, 사이리스터 컨버터의 점호각을 결정하기 위한 PID 제어기 출력은 안정적인 동작을 위해 점호각을 서서히 추종하는 특성을 가지므로, 응답성이 낮은 단점을 가진다.

본 논문에서는 PID 제어기로 점호각을 제어하는 사이리스터로 구성된 3상 세미 컨버터에서 부하의 변동에 대한 응답성을 개선시키기 위하여 데이터 병렬루프를 가지는 점호각 제어기를 제안한다. 제안된 데이터 병렬루프를 가지는 점호각 제어기는 사이리스터 컨버터의 점호각을 부하 전류의 크기에 따라 내부의 데이터로 구성된 점호각 데이터와 PID 제어기의 점호각이 병렬로 구성되어 점호각을 결정하는 방식이다. 이때, 내부의 점호각 병렬 데이터는 지령전압과 전류의 크기에 따라 실험적으로 측정된 점호각으로 룩-업 테이블로 구성된다. 따라서, 실제적으로는 내부의 룩-업 테이블로 구성된 점호각 데이터에 의해서 출력전압은 거의 근사적으로 지령전압을 추종할 수 있으나, 전류의 측정오차, 입력전압의 변동 등에 의하여 실제 출력전압은 오차를 가지게 된다. 따라서, PID 제어기는 작은 출력전압의 오차에 대하여 점호각의 제어를 수행하게 되므로, 기존의 PID 제어 방식에 비하여 빠른 응답성을 가질 수 있다.

제안된 데이터 병렬 루프를 가지는 PID 방식의 점호각 제어기는 실제 50[A]급의 선박용 직류 전원장치에 적용하여 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다.

2. 3상 세미 컨버터형 선박용 직류 전원장치

그림 1은 일반적인 3상 세미 컨버터를 적용한 선박용 직류 전원장치의 구조를 나타내고 있다. 그림 1에

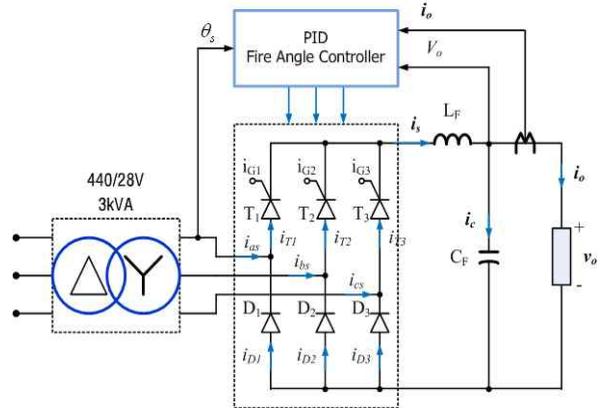


그림 1 3상 세미 컨버터를 적용한 선박용 직류 전원장치
Fig. 1 A 3-phase semi-converter for DC power of ship

서 전원입력은 3상 440[V]이며, 주파수는 50/60[Hz]이다. 선박용 주요장치의 전압은 24 ~ 28[V]를 적용하고 있으며, 440[V] 전원을 감압하기 위한 3상 변압기가 입력단에 설치된다. 입력 전압은 사이리스터의 게이트 점호에 따라 출력 전압이 결정되며, 리액터 L_F 와 커패시터 C_F 로 구성된 파워필터를 통하여 출력전압을 평활시킨다.

3상 세미 컨버터에서 출력전압에 영향을 주는 요소는 크게 부하전류 i_o , 입력전압 V_s 및 출력전압 지령 V_o^* 로 나타낼 수 있다. 이때, 평균출력전압과 정규화 평균 출력전압의 크기는 점호각과 입력 전압에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3} V_s}{2\pi} \cdot (1 + \cos\alpha) \tag{1}$$

단, V_s 은 교류입력 전압의 실효치

또한, 정규화된 평균 출력전압의 크기 V_n 은 다음과 같이 표현된다.

$$V_n = \frac{V_o}{V_{dm}} = 0.5 \cdot (1 + \cos\alpha) \tag{2}$$

단, $V_{dm} = \frac{3\sqrt{3} V_s}{\pi}$: 최대 평균출력전압

즉, 입력 전압과 평균출력전압은 선형적인 관계에 있으며, 출력전압은 점호각의 크기에 따라 비선형적인 특성을 가지게 된다.

그림 2는 사이리스터의 점호각을 제어하기 위한 일

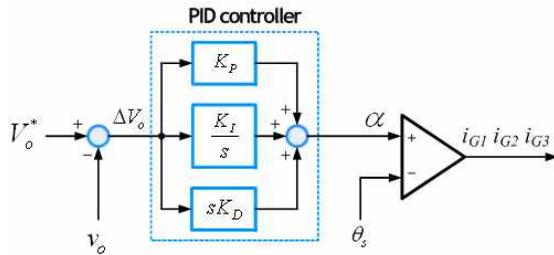


그림 2 PID 점화각 제어기 구조
Fig. 2 PID fire angle controller

반적인 PID 제어기의 구조를 나타내고 있다. 사이리스터의 점화각을 제어하는 제어기는 일반적인 PID 제어기와 동일하지만, 전압의 오차에 대해서 음의 제어이득을 가지도록 설계된다. 이는 점화각의 크기가 작아질수록 출력전압이 상승하는 특성을 가지고 있기 때문이다.

이때, 점화각을 결정하는 제어주기는 일반적인 디지털 방식과 달리 전원 주파수에 따라 결정되는데, 전원 입력 주파수가 60[Hz]인 경우, 180[Hz]의 주기로 점화각이 한 번씩 결정된다. 이러한 점화각의 결정주기는 일반적인 PID 제어기의 제어주기가 1[kHz] 이상인 것과 비교하여 매우 응답성이 낮은 시스템으로 제어기의 속응성을 높이기가 매우 어렵다. 따라서 급격한 부하 변동에 대하여 비교적 높은 전압 리플을 가지게 된다.

3. 제안된 데이터 병렬루프형 PID 제어기

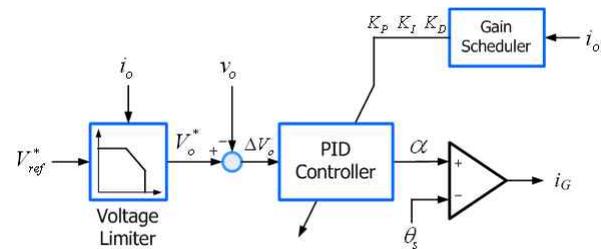
일반적인 PID 제어기의 응답성을 개선하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔는데, 대부분은 광범위한 운전조건에서 최적의 제어이득을 구하기 위한 방식이 적용되고 있다. 특히, 산업용으로는 운전조건에 따라 제어이득이 가변되는 시스템을 구현하여 실제 제어특성을 개선하기 위한 연구가 진행되었다^[7-8]. 이러한 제어기는 기존의 PID 제어기와 동일하게 구성되지만, 최적의 제어이득을 산정하기 어려운 다양한 운전조건에서 운전조건에 적합한 제어이득이 가변적으로 적용되도록 설계하여 시스템의 응답성을 높이도록 구성된다.

본 논문에서는 제어주기가 비교적 낮은 시스템에서 제어기의 응답성을 높이기 위하여 운전조건에 적합하게 설계된 데이터와 PID 제어기를 병렬로 구성하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템에서 운전조건과 상황에 따라 초기에 병렬루프의 데이터에서 제어출력이 발생하고, 이 제어출력에 따른 미세한 오차는 PID 제어기에서 보상제어하는 방식으로 적절한 데이터의 구

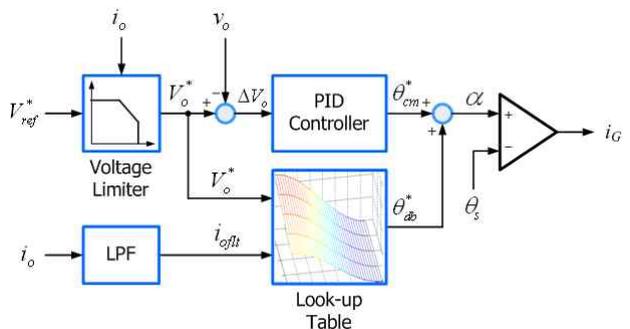
성에 따라 기존의 PID 제어기에 비해 빠른 응답성을 가질 수 있으며, 오차성분이 쉽게 영으로 수렴될 수 있는 특성을 가진다. 즉, 제안된 병렬루프의 데이터는 AC 전동기의 벡터제어 기법에서 전동기의 역기전력 성분을 보상하여 응답성을 개선시키기 위한 방법과 동일하게 동작하게 된다.

그림 3은 운전조건에 따른 가변제어이득을 가지는 PID 제어기와 본 논문에서 제안하는 데이터 병렬 루프형 PID 제어기의 구조를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 일반적으로 PID 제어기의 응답성을 개선하기 위한 가변제어 이득형 PID 제어기를 나타내고 있다^[9]. 이 방식에서 PID 제어기의 제어 이득은 시스템 변수에 따라 가변적으로 변동하게 되므로, 오차가 큰 경우에는 높은 제어이득을 적용하여 응답성을 높이고, 낮은 제어오차에 대해서는 낮은 제어이득을 적용하여 시스템의 안정성을 높일 수 있다. 하지만, 가변 제어이득형 PID 제어기는 제어 이득의 가변을 위한 별도의 이득 변환 방식이 요구된다.

그림 3(b)는 본 논문에서 제안하는 데이터 병렬루프형 PID 점화각 제어기의 구조를 나타내고 있다.



(a) 가변 제어이득형 PID 제어기의 구조



(b) 제안된 데이터 병렬루프형 PID 제어기의 구조

그림 3 응답성 개선을 위한 PID 제어기

Fig. 3 PID control scheme to improve the performance
(a) Variable gain PID controller
(b) Proposed PID controller with parallel data loop

제안된 방식에서 룩-업 테이블은 각 지령전압과 부하 전류에 따라 실험적으로 구해진 점호각 데이터로 구성되어 있으며, 지령전압은 외부의 설정에 따라 고정되고, 부하 전류에 따라 점호각 데이터가 급격히 변동하는 것을 억제하기 위하여 저역통과 필터에 의한 입력에 따라 룩-업 테이블의 데이터가 결정되도록 설계하였다. 제안된 방식이 특히 사이리스터 컨버터 시스템에 적합한 것은 선박용 직류전원장치의 전압 지령은 매우 단순한 고정된 값으로 결정되고, 부하 전류의 크기도 50[A]까지 5가지의 데이터에 대하여 룩-업 테이블을 구성할 수 있으며, 중간 데이터에 대해서는 선형 보간법으로 점호각을 결정할 수 있으므로, 테이블의 구성이 매우 단순하기 때문이다. 그림 3에서 θ_s 는 전원전압의 위상각을 나타내고 있으며, α 는 사이리스터 컨버터의 점호각을 의미한다. 제어기의 최종 출력은 전원전압의 위상각과 제어기의 점호각 비교에 의해 게이트 전류를 출력하게 된다.

사이리스터 컨버터에서 고정된 점호각에 대하여, 부하전류가 변동하게 되면, 리액터의 전압강하 변동 성분과 커패시터의 충전전류의 크기 변동에 따른 출력전압의 변동이 발생한다. 이러한 전압 변동을 억제하기 위해서 PID 제어기에서는 전압 오차에 따라 점호각을 가변하여 지령전압을 추종하도록 설계된다.

본 논문에서는 부하전류의 변동을 고려하기 위하여 부하전류의 크기에 따라 실험적으로 구해진 내부의 점호각 데이터와 PID 제어기가 병렬로 동작하는 방식으로 점호각이 결정되도록 설계하였다.

본 논문에서 PID 제어기는 기존과 동일하게 구성되며, 제어기의 출력 점호각 θ_{cm}^* 은 다음과 같이 결정된다.

$$\theta_{cm}^* = K_P \cdot \Delta V_o + K_I \cdot \int \Delta V_o \cdot dt + K_D \cdot \frac{d\Delta V_o}{dt} \quad (3)$$

단, $\Delta V_o = V_o^* - v_o$

v_o : 출력전압의 크기

K_P, K_I, K_D : PID 제어기의 제어 이득

또한 데이터 베이스에서 결정되는 점호각 θ_{db}^* 는 지령전압과 전류의 함수로 다음과 같이 결정된다.

$$\theta_{db}^* = TABLE(V_o^*, i_{oflt}) \quad (4)$$

단, i_{oflt} 는 부하 전류의 저역통과 필터된 값을 의미한다.

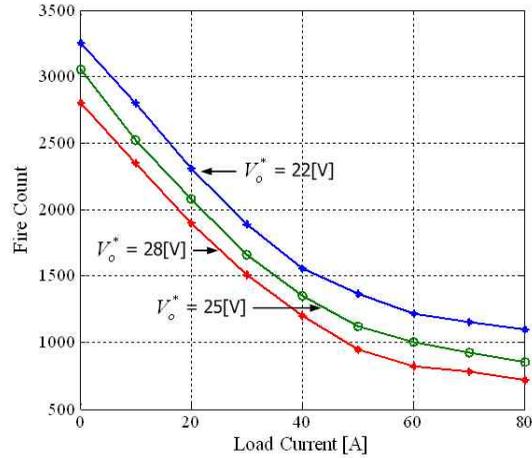


그림 4 전압과 전류에 따른 내부 데이터의 구성
Fig. 4 Data block according to voltage reference and load current

그림 4는 본 논문에서 적용한 데이터베이스의 데이터를 나타내고 있다. 점호각은 디지털 제어기에서 카운터 값으로 변환하여 적용하게 되므로, y축 데이터는 디지털 카운터의 값으로 표현되어 있다.

본 논문에서 룩-업 테이블은 설계된 사이리스터 컨버터의 적용에 따라, 22V - 28V의 출력에 대하여 0 ~ 80[A]까지의 부하 전류에 대한 점호각 실험을 수행하여 결정하였다. 부하 전류는 과부하 내량을 고려하여 10[A]씩 가변하여 9개의 데이터로 구성하고, 지령 전압은 22, 25 및 28[V]의 세 가지 경우에 대하여 데이터를 구성하였다. 구성된 데이터에서, 중간 값에 대해서는 선형 보간 방식으로 테이블의 데이터가 구해 질 수 있다.

따라서 점호각 α 는 PID 제어기의 점호각 θ_{cm}^* 과 병렬루프의 데이터 점호각 θ_{db}^* 의 합으로 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \theta_{cm}^* + \theta_{db}^* \quad (5)$$

4. 실험 결과

제안된 데이터 병렬루프형 PID 점호각 제어기 방식의 사이리스터 컨버터를 검증하기 위하여, 선박용 직류전원장치로 설계된 3상 반 컨버터 전력공급장치를 설계하고 실험을 수행하였다. 적용된 전력공급장치는 출력전압이 24 - 28[V]이고, 전류는 50[A]의 정격을

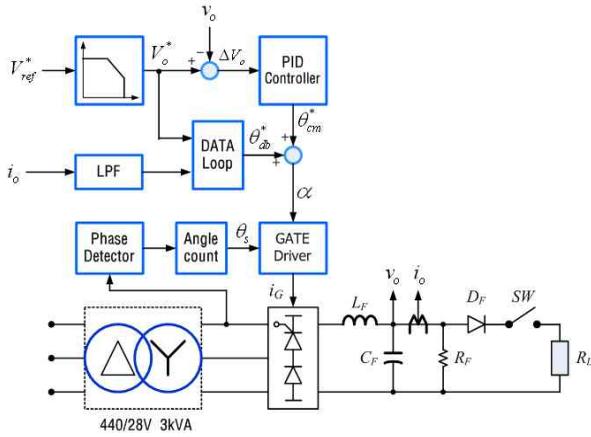


그림 5 제안된 시스템의 전체 블록도
Fig. 5 Block diagram of the proposed system

가지도록 설계되었다. 사이리스터 모듈은 Sanrex사의 PD90F-80을 적용하였고, 게이트 드라이브는 포토 커플러를 적용한 절연형 게이트 드라이브로 설계되었다. 디지털 제어기는 Atmel사의 Atmega16을 사용하였으며, 출력전압과 부하전류는 마이크로 프로세서에서 내장된 10bit AD 컨버터를 사용하여 검출하였다. 부하전류는 절연형 증폭기와 0.8[mΩ]의 shunt 저항을 사용하여 검출하였으며, 출력전압은 절연형 증폭기인 HCPL-788J를 통하여 전압이 검출된다. 출력전압과 전류는 내부의 AD 컨버터에서 1[ms]의 제어주기로 검출하고 있으며, 디지털 저역통과 필터를 사용하여 제어기 변수로 사용하였다. 출력단의 파워필터는 $C_F = 10,000\mu\text{F}$, $L_F = 1.02\text{mH}$ 로 설계되었다.

그림 5와 6은 제안된 병렬루프형 PID 점호각 제어 방식의 선박용 전원장치의 제어 블록도와 실험환경을 나타내고 있다. 그림 5에서 전압의 위상은 선간 전압에 대하여 포토커플러로 ZC(Zero Crossing)을 검출하여, Atmega16의 내부 16비트 카운터로 위상각 θ_s 를 계산하도록 설계하였다.

그림 6의 실험장치에서 디지털 제어기는 사이리스터 컨버터의 출력전압을 제어하는 제어부와 판넬에서 사용자가 전압의 크기 및 전류 제한을 설정하도록 하는 디스플레이부로 구분하여 설계되어 있으며, 디스플레이 장치는 디지털 제어기에 지령전압을 설정하고, 출력전압 및 전류를 RS-485통신으로 수신하여 판넬에서 표시하도록 하였다. 실험장치의 부하는 1.25kW의 저항성 부하에 대하여 차단기를 동작시켜 급격한 부하인가에 대한 응답성을 실험하였다.

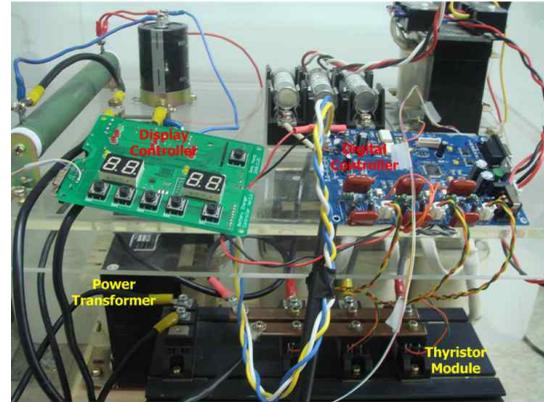
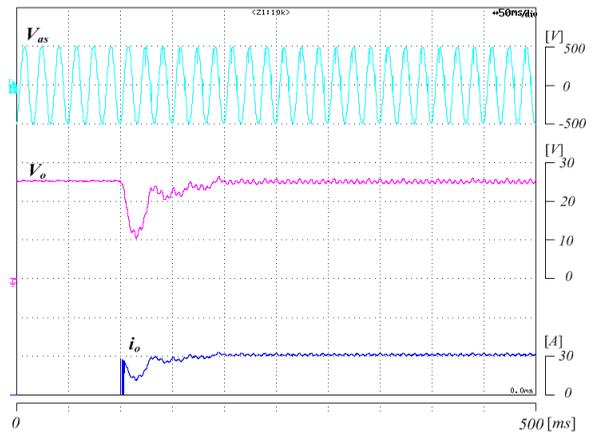
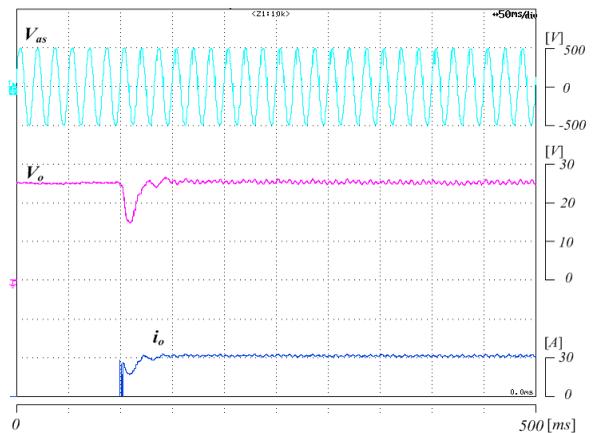


그림 6 실험장치의 구성
Fig. 6 Experimental configuration



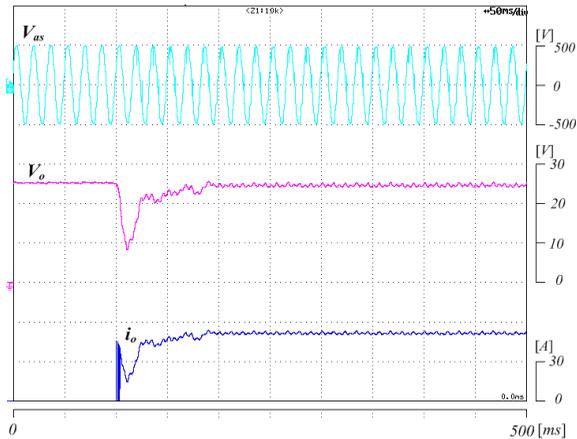
(a) 기존의 PID 제어기 실험 결과



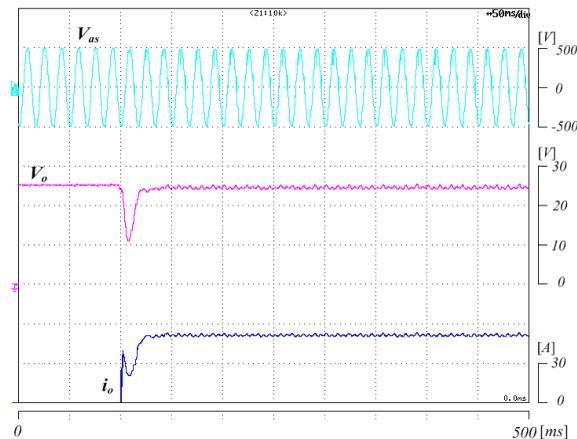
(b) 제안된 방식의 실험 결과

그림 7 60% 부하 인가에 대한 실험결과 비교
Fig. 7 Compared experimental result at 60% load
(a) Conventional PID controller
(b) Proposed control scheme

그림 7과 8은 기존의 PID 제어기와 제안된 데이터 병렬루프형 PID 방식의 점호각 제어기 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 7은 정격부하의 60% 부하를 인가하였을 경우의 실험결과를 나타내고 있고, 그림 8은 정격부하를 인가하였을 경우의 실험결과이다. 실험에서 지령전압은 25[V]로 설정되었으며, 차단기에 의해 저항성 부하를 급격하게 인가하도록 시험하였다. 실험 결과에서 제안된 방식은 모두 50[ms]이내에 안정적으로 전압이 정상상태로 복귀하는 특성을 나타내었으며, 기존의 PID 제어방식은 100[ms]의 안정시간과 전압의 딥 현상도 기존의 제어방식에서는 15[V] 정도의 언드슈트가 발생하지만, 제안된 방식의 경우에는 8.5[V]로 낮게 나타남을 보이고 있다.

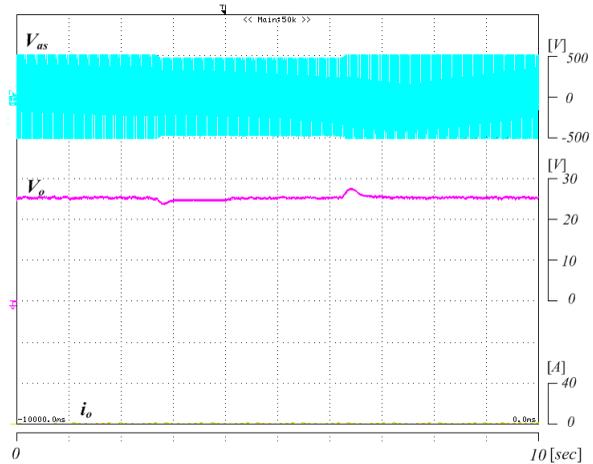


(a) 기존의 PID 제어기 실험 결과

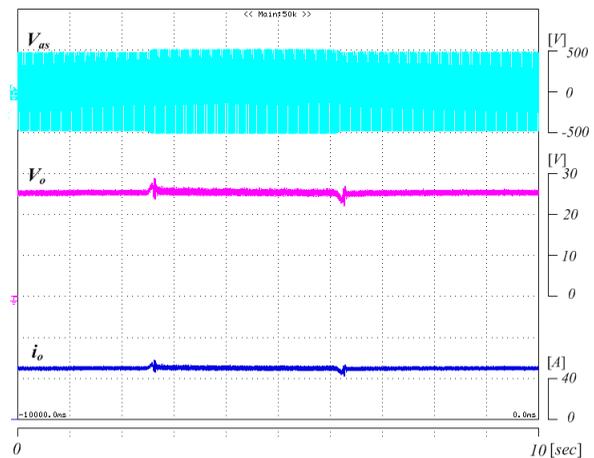


(b) 제안된 방식의 실험 결과

그림 8 정격부하 인가에 대한 실험결과 비교
 Fig. 8 Compared experimental result at rated load
 (a) Conventional PID controller
 (b) Proposed control scheme



(a) 무부하 상태



(b) 정격부하 상태

그림 9 입력전원 변동에 따른 추종성 실험 결과
 Fig. 9 Experimental results according to source voltage variation

(a) No load (b) Rated load

그림 9는 제안된 방식에서 입력 전원이 약 15%정도 변동되었을 경우의 무부하와 정격부하 상태에서 실험 결과를 나타내고 있다. 무부하와 정격부하에서 모두 출력전압은 약 8% 이내의 오버슈트와 언드슈트 이내로 안정적으로 출력전압을 발생하고 있음을 보이고 있다.

5. 결론

본 논문은 선박용 전원을 공급하기 위한 사이리스터 컨버터에서 점호각의 제어주기에 따른 응답성을 개선

하기 위하여, 데이터 병렬루프를 가지는 PID 점호각 제어기를 제안하였다. 제안된 방식은 지령전압과 부하 전류에 따라 실험적으로 구해진 점호각 데이터 루프를 병렬로 내장하여, 부하 변동상태에서 발생하는 점호각의 변동을 보다 빠르게 추종하도록 하는 방식이다. 사이리스터의 점호각은 입력 전원의 주파수에 동기하여 점호각을 결정하므로, 한번에 결정된 점호각은 다음 교류의 입력동안 출력전압의 발생에 영향을 미치게 된다. 따라서, 부하 상태에 따라 내부의 점호각 데이터는 전동기에서 역기전력 성분과 같이 제어기의 오차를 빠르게 보상하는 역할을 수행함으로써, PID 제어기의 응답성을 개선하도록 동작한다. 제안된 방식에서는 부하 전류의 상태에 따라 내부의 데이터베이스를 구축하였고, 전류 변동에 따라 점호각이 급격하게 변동하는 것을 억제하기 위하여 실제 부하전류에 저역통과 필터를 설계하여 내부 데이터가 결정되도록 설계하였다.

제안된 시스템은 실제 50[A]급 사이리스터 컨버터에 적용한 기존의 PID 제어기와 비교실험 결과에서 급격한 부하 변동에 대하여 보다 빠른 응답성을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 중소기업청의 산학협력실 지원사업을 통해 개발된 결과물임

참 고 문 헌

- [1] Power Converter Handbook, Canadian General Electric C. L.
- [2] D. Thimmesch, "An SCR Inverter with an Integral Battery Charger for Electric Vehicle", *IEEE Trans. on Industry Application*, Vol. IA-21, No. 4, pp. 1023-1029, 1985, July/August.
- [3] S. W. Choi, "New Pulse Multiplication Technique Based on Six-Pulse Thyristor Converters for High-Power Application", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 38, No. 1, pp. 131-136, 2002, Jan./Feb.
- [4] D. J. Perreault and J. G. Kassakian, "Effects of Firing Angle Imbalance on 12-pulse Rectifiers with Interphase Transformers", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 10, pp. 257-262, 1995, May.
- [5] J. A. Mallick and M. Crawford, "Determining Pulsed Alternator Thyristor Converter Firing Angles to Produce a Desired Launcher Current", *IEEE Trans. on Magentics*, Vol. 41, No. 1, pp. 322-325, 2005, Jan.
- [6] M. Benedetti and G. Uicich, "New High-performance Thyristor Gate Control Set for Line-Commutated Converters", *IEEE Trans. on Industry Electronics*, Vol. 46, No. 5, pp. 972-978, 1999, Oct.
- [7] 이진하, 최철, 김철우, "선형 영구자석형 동기 전동기의 Fuzzy 기반 Self-Tuning PI 속도 제어기에 관한 연구", *전력전자학회 논문지*, Vol. 9, No. 6, pp. 602-611, 2004.
- [8] 이동희, 최철, 김철우, "이중 속도 제어 구조에 의한 서보 제어기의 비선형 마찰 토크 보상", *전력전자학회 논문지*, Vol. 9, No. 6, pp. 612-619, 2004.
- [9] 유재성, 신수철, 이원철, "가변계인 회전자 자속관측기에 근거한 스핀들 유도전동기의 센서리스 속도제어", *전력전자학회 논문지*, Vol. 11, No. 5, pp. 417-425, 2006.

저 자 소 개



이재성(李在成)

1981년 3월 20일생. 2005년 동의과학대학 전기과 졸업. 2004년~2006년 뉴마린엔지니어링 기사. 2008년 경성대 메카트로닉스 공학 졸업. 2007년~현재 동영전기(주) R&D 주임연구원.



장진석(張珍錫)

1971년 4월 17일생. 2003년 동서대 산업공학과 졸업. 2008년 해양대 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 제어계측공학과 재학(공박). 1997년~2001년 한국오루강침 대리. 2001년~2007년 극동일렉콤 팀장. 2007년~현재 동영전기(주) R&D 연구소장.



추영배(秋榮培)

1955년 6월 23일생. 1982년 부산대 공대 전기기계공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1984년~1985년 (주)효성중공업 근무. 1986년~1991년 한국전기연구원 근무. 현재 거제대학 선박기술계열 부교수.



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기·전자·메카트로닉스 공학부 조교수. 당 학회 국문지 편집위원.