

## 직류 직권 모터용 보상된 BANG-BANG형 전류제어기 설계에 관한 연구

김종건\*, 배종일\*\*, 이만형\*\*\*

\*부산대학교 대학원(Tel: 051-510-1456, Fax: 051-510-2331)

\*\*부경대학교 전기공학과(Tel: 051-620-1437; Fax: 051-620-1426)

\*\*\*부산대학교 지능기계공학과(Tel: 051-510-1456, Fax: 051-510-2331)

### A Study on Design of a Compensated Bang-Bang Current Controller for Dc Series Wound Motor

Jong-Keon Kim\*, Jong-Il Bae\*\*, Man-Hyung Lee\*\*\*

\*Dept. of Intelligent Mechanical Eng. , Pusan National University

\*\*Dept. of Electrical Eng. , Pukyong National University

\*\*\*Dept. of Control Mechanical Eng. , Pusan National University

**Abstract** - In order to establish the robust current controller design technique of series wound motor driver system. This paper proposes a method of compensated Bang-Bang current control using a series wound motor driver system under improperly variable load. Real time implementation of compensated Bang-Bang current controller achieved. Concept design strategy of the control and PWM waveform generation algorithms are presented in the paper.

#### 1. 서 론

그림 1은 2상한에서 동작이 가능한 직류직권 모터를 위한 전력회로이다. 여기서 PWM증폭기는 전압원이나 전류원 어느 것으로도 사용이 가능하다. 전압제어의 문제점은, 배터리 전압원으로 되어 있는 제어시스템을 해석하는 경우, 전력 증폭기의 입력전압은 일정한 값으로 계산되는 것이 보통이다. 그러나 전력 증폭기의 입력단은 제한된 콘덴서 필터로 되어 있으므로 기동시나 제동시 증폭기의 입력전압이 크게 변하게 되는데, 이때의 전압 리플은 출력의 속도나 토크에 직접 영향을 미친다. 따라서 입력전압의 변화를 측정할 필요성이 생기는데, 이것 역시 모터 내부저항의 온도에 따른 변화, 전류에 따른 모터내부의 인덕턴스변화, 하드웨어 복잡성 및 소프트웨어에서의 부담 이외에도 모터가 전압에 의하여 구동되는 경우, 제어시스템의 차수가 높아지므로 해석이 복잡하게 되며 실시간 계산 또한 힘들게 된다. 따라서 본 연구에서는 전류제어를 다루게 되었다.

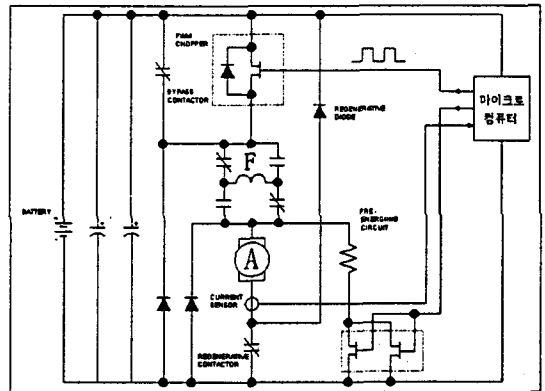


그림 1 직류직권 모터 구동을 위한 전력회로

#### 2. 본 론

**2.1 보상된 Bang-Bang 전류제어기와 R-L부하**  
보상된 Bang-Bang 전류제어기의 구성은 그림 2와 같으며, Bang-Bang 루프는 제어변수인 모터 전류의 평균값을 조절하기 위해 히스테리시스특성을 갖는 비교기를 제한루프에 적용하여 포화영역으로 동작을 수행시키므로써 출력값이 결정되는 ON/OFF 제어기이다.

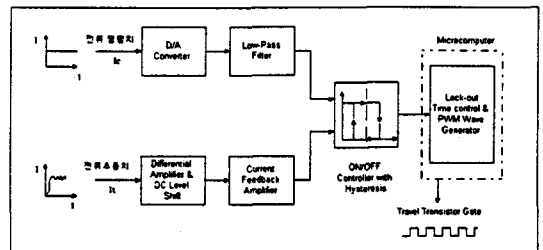


그림 2 보상된 Bang-Bang 전류제어기의 구성도

일반적인 R-L부하에서의 보상된 Bang-Bang 제어기의 부하전류 응답특성을 살펴보면, 스텝입력의 전류명령( $I_c$ )에 따른 스텝응답의 부하전류( $I_a$ )와 전력 증폭기( $K_2$ )의 전압파형( $V_a$ )을 그림 3에 보였

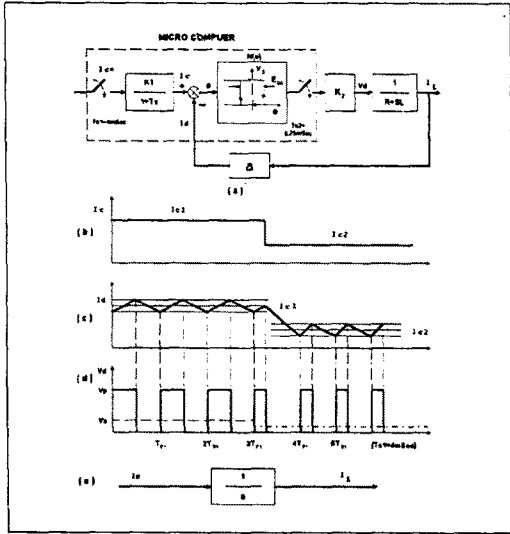


그림 3 R-L부하에서의 보상된 Bang-Bang 전류제어기

여기서  $a$ 는 전류 제한이득이다.  $E_{DS}$ 는 오차 불감영역이며, 저손실 PWM Chopper회로를 구현하기 위해 디지털PWM 신호(250Hz)를 마이크로 컴퓨터의 I/O Port에서 발생하며, 듀티 사이클은 ON/OFF 제어기의 출력정보를 검출한 후 실시간 인터럽트 서브루틴에서 순차적으로 처리하여 모터의 평균 출력전류가 전류 명령치와 같아지도록 한다. 그리고 이 시스템에서는 스위칭주파수를 제한하기 위한 Lockout기능이 ON/OFF 제어기의 출력정보의 샘플링시간( $T_{S2}$ )에 의해 마이크로컴퓨터에서 소프트웨어적으로 결정된다.

그림 3에서 보는 것과 같이  $V_a$ 의 리플(Ripple)은  $I_L$ 에서의 Limit Cycle 주파수에만 영향이 있으며, 평균값인  $I_c/a$ 에는 영향이 없음을 알 수 있다. 즉, 비교기를 이용한 Bang-Bang 전류제어기는 입력의 전압리플에 무관한 전류제어기이다. 그리고, 이 전류제어기의 평균 출력전류는  $I_c/a$ 이므로 평균의 관점에서 준선형증폭기(Quasi-Linear Amplifier)라고 할 수 있다.

## 2.2 보상된 Bang-Bang 전류제어기와 직류직권 모터

본 장에서는 직류직권 모터 방정식에서 가변·비선형(variable-type, nonlinearity)특성을 나타내므로 전달함수 해석기법을 적용하기 위해 제한된

작동범위 내에서만 비선형시스템을 선형화하여 제어기 설계를 한다. 따라서 작동점 부근에서 시스템 파라미터를 다시 정의하고 라플라스영역으로 변환하면 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta v_a(S) = K_2 \cdot \Delta v_r(S) \quad (2.2.a)$$

$$\Delta E_a(S) = Kv [I_{\infty} \cdot \Delta \bar{\omega}(S) + \bar{\omega}_0 \cdot \Delta I_c(S)] \quad (2.2.b)$$

$$\Delta v_a(S) = R_m \cdot \Delta I_a(S) + SL_m \cdot \Delta I_a(S) + \Delta E_a(S) \quad (2.2.c)$$

$$\Delta T_d(S) = 2Kv \cdot I_{\infty} \cdot \Delta I_c(S) \quad (2.2.d)$$

$$= SJ \cdot \Delta \bar{\omega}(S) + B \cdot \Delta \bar{\omega}(S) + \Delta T_d(S) \quad (2.2.e)$$

위식으로부터 Bang-Bang 전류제어기를 사용한 시스템 블록선도는 그림 4와 같다. 모터 임피던스는  $R_m$ 과  $L_m$ 으로 구성되며, 인덕턴스  $L_m$ 은 모터 내부인덕턴스와 외부인덕턴스를 모두 포함한 성분이다. 상기 시스템의 전류제어에서  $I_c(S)$ 가 입력일때 직류직권 모터 시스템의 전달함수는 다음과 같이 된다

$$\frac{\Delta W(S)}{\Delta I_c(S)} = \frac{N(\epsilon) \cdot K_2 \cdot 2K_v \cdot I_{\infty}}{\left[ (R_m + SL_m)(B+S) + N(\epsilon)K_2\alpha(B+S) + K_v\omega_0(B+S) + 2K_v^2I_{\infty}^2 \right]} \quad (2.2.f)$$

이 시스템에서 전력증폭기의 이득( $K_2$ )과 기술함수  $N(\epsilon)$ 는 매우 큰 값을 가지기 때문에 이런 조건 하에서 전달함수는 다음과 같이 간략화시킬 수 있다.

$$\lim_{N(\epsilon) \rightarrow \infty} \frac{\Delta W(S)}{\Delta I_c(S)} = \frac{2K_v I_{\infty}}{\alpha \cdot (B+S)} \quad (2.2.g)$$

따라서 간략화된 전달함수는 그림 4.b와 같으며, 간략화된 등가모델에 대한 해석은 스위칭 PWM 증폭기에서의 순방향 고이득(Forward High gain)에 기인하며 그의 응답은 궤환회로(a)에 의해 결정되어진다. 또한 간략화된 모델은 R-L부하에서의 전류 제한이득인 그림 3.e와 같아지므로 직류직권 모터에서의 전류제어기는 R-L부하에서와 같이 동작한다.

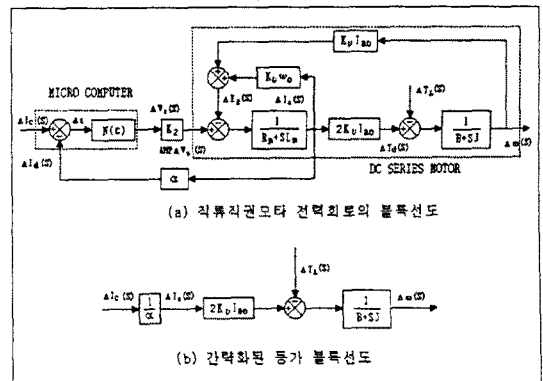


그림 4 직류직권모터 시스템의 블록선도

## 2.3 디지털 PWM 신호발생 알고리즘

전류제어기는 실시간 동작이 요구되는 시스템이므로 이를 동작시키기 위한 소프트웨어도 실시간

운영체제를 갖추어야 한다. 이를 위해서 개발한 제어기의 소프트웨어는 주로 R.T.S. (Real Time Scheduler)에 의한 250[ $\mu$ sec] 인터럽트 서비스 루틴의 실행으로 동작된다.

인터럽트 발생시 각 기능구현을 위한 16단계의 프로그램 모듈(Program Module)이 마련되어 현재 시스템의 전류상태 및 동작모드를 검출하여, 초퍼 전력회로의 Gate Signal인 PWM파형의 ON/OFF Pulse 상태결정 및 신호출력을 수행하고, 실시간 인터럽트의 적산치계수 즉, 16-Unit( $250\mu\text{sec} \times 16 = 4\text{ms}$ : 250Hz PWM주파수)를 1주기(4msec)로 PWM 신호의 On Duty Length를 (1/16)의 단위로 가변하여, 시스템의 동작모드에 따른 비선형 동작에 대한 보상과 함께 적절한 디지털 PWM 신호 파형을 발생시킨다. 그림 5에서는 PWM 신호의 순차적인 발생을 위한 Time Chart를 제시하였다.

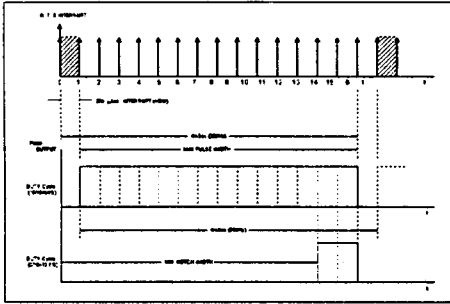


그림 5 디지털PWM파형의 타임 차트

### 3. 실시시스템에 대한 실험

본 논문에서 제안된 제어방법의 유효성을 입증하기 위하여 전체 하드웨어 구성도는 그림 1과 같다. 전체하드웨어는 Digital Compensation, Power Converter, Current Sensor 등으로 이루어져 있다. 실험에 사용된 모터는 48V, 6Kw, 2700rpm 직류직권 모터이며, 실시간 전류제어를 위하여 Z84C00 Micro Computer를 제작하였다. 이 실험 결과에서 보상된 Bang-Bang제어가 끝난 후의 전류오차는 작으며 오버슈우트가 없다는 것을 그림 6의 부하전류 응답특성에서 잘 보여주고 있다.

### 4. 결 론

본 논문은 직류직권 모터시스템의 토오크제어시 새로운 전류제어 방식을 제안하여 전압제어시 필요한 전류제한의 기능까지 겸하고 있으므로 전압, 전류병용제어가 가능하며 하드웨어에서의 복잡성을 크게 증가시키지 않고도 간단한 회로로 구성하는 방법을 제안하였다. 그리고 실험 결과에서 그림 6

의  $I_L$ 과  $I_c$ 가 일치하지 않는 이유는 직류직권 모터에 적절한 부하를 가하지 않으며 모터의 기동특성이 우수하여 모터가 급속하게 폭주상태에 도달하는 경우가 발생하여 모터의 역기전력에 의해 전류가 감소함을 관찰할 수 있었다.

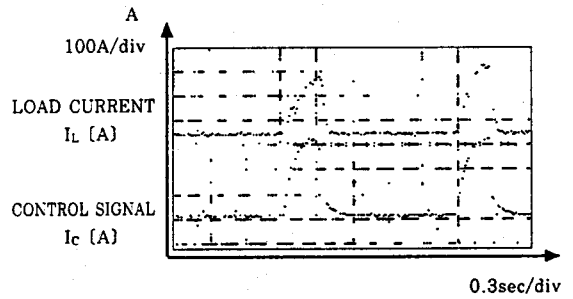
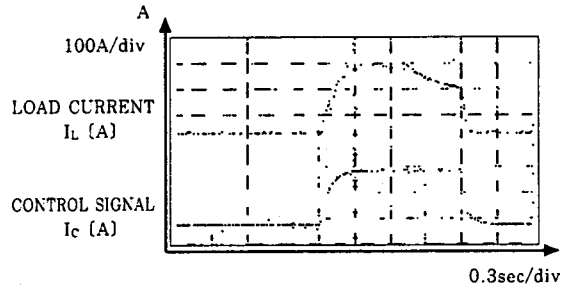


그림 6 전류 명령을 달리 했을 때의 부하전류 응답특성

### [참 고 문 헌]

- [1] M. H. Rashid, *Power Electronics Circuits, Device, and Applications*, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 326~328, 1988.
- [2] DC Motor, Speed Controls, Servo Systems, Engineering Handbook(3rd Ed.), Electro-Craft Corp., Minnesota, pp. 4-32~4-36, 1975.
- [3] S. Bennett, *Real Time Computer Control*, Prentice Hall, pp. 137~145, 1988.
- [4] J. J. Slotine, *Applied Nonlinear Control*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 203~205, 1991.
- [5] NASA Tech Briefs September, Vol. 18, No 9, pp. 52~54, 1994.