

적응 전류 이득 변환 방법을 이용한 스핀들 모터의 제어 성능 향상 방법

김진석¹⁾²⁾, 오경환¹⁾, 이병국²⁾
삼성전자 반도체 사업부¹⁾, 성균관대학교²⁾

Adaptive Current Gain Switching Method for Improvement of Spin Control Accuracy in HDD

Jin-Seak Kim¹⁾²⁾, Kyoung-Whan Oh¹⁾ and Byoung-Kuk Lee²⁾
Samsung Electronic Semiconductor Division¹⁾, Sungkyunkwan University²⁾

ABSTRACT

1980년초 미국 실리콘 벨리 소재 시게이트사에 의해 5메가 바이트 용량의 개인 컴퓨터용 하드 디스크 드라이브(HDD)가 처음 소개된 이후, HDD 개발 기술은 꾸준한 성장을 거듭하였다. 최근 인터넷의 보급으로 엄청나게 많은 정보저장용량을 요구하게 되었으며, 정보저장기에 대한 폭발적인 수요에 부합하고 있는 기기중의 하나가 HDD이다. 드라이브에서 스핀들 모터의 제어는 주된 읽기쓰기 동작을 위한 가장 기본적인 제반 여건이며, 단위 면적당 데이터(BPI)가 증가함에 따라서 스핀들 모터의 제어 성능은 드라이브 성능과 직결되는 더욱 중요한 인자중의 하나가 되었다. 본 논문에서는 스핀들 모터의 제어 성능 향상을 위해 스핀들 모터의 출력 이득을 조정하여 제어 분해능을 향상시키는 방법을 제시하고 있다.

1. 서 론

하드 디스크 드라이브의 스핀들 모터 제어성능 향상을 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 제어기 개선을 통한 강인제어, 피드-포워드 제어를 통한 빠른 응답 특성 등이 대표적인 예이다[1]. 본 연구에서는 일반적으로 하드 디스크 드라이브에서 사용되고 있는 피드-포워드 제어를 적용한 PI 제어기를 전제로 하고, 시스템에서 제어성능을 향상하는 적응 전류 이득 변경 방법을 제시하고자 한다. 적응 전류 이득 변경 방법은 스핀들 모터의 가속 상태와 정속 유지 상태의 시간적 분리를 통하여 스핀들 모터 구동에 요구되는 전류량에 따라서 전류 이득 조절을 통하여 가용 전류 최대치 조정에 따른 출력 분해능을 향상시키는 방법을 제시한다.

2. 적응 전류 이득 변경 방법

2.1 기존의 전류 이득 변경 방법

일반적으로 하드 디스크 드라이브에 사용하는 스핀들 모터의 제어는 10비트 DA(Digital to Analog) 컨버터를 이용하여 구동한다. 만약 동일 비트 수의 스핀들 제어를 위한 DAC을 사용하면서 분해능을 높이기 위해서는 출력 전류의 이득을 변경함으로써 가능하다. 하지만 스핀들 모터의 정상속도 도달 시간을 단축하기 위하여 최대 전류 이득만을 사용해야 하는 제약이 있었다[2]. 본 연구에서는 스핀들 모터의 가속 구간과 정속 구간의 시간적 분리를 통하여 현재 요구되는 스핀들 모터의 구동

전류를 모니터링하여 최적의 전류 이득을 적용함으로써 제어 분해능을 향상하고 정밀 제어를 수행할 수 있다.

그림 1은 각각의 전류 이득에 따른 최대 출력 전류와 DAC 값을 보여주고 있다. 전류 이득이 높을수록 최대 출력 전류가 높지만 분해능이 떨어지고, 전류 이득이 낮을수록 최대 출력 전류를 감소하나 분해능이 향상됨을 알 수 있다[3]. 따라서 가속 기동 구동 구간에서는 최대 전류 이득을 사용함으로써 가속 시간을 최소화하고, 정속 상태에서는 정속 구동을 유지하기 위해서 필요한 전류 요구가 낮아짐에 따라 낮은 전류 이득으로 전환하여 DAC 분해능 향상을 도모한다.

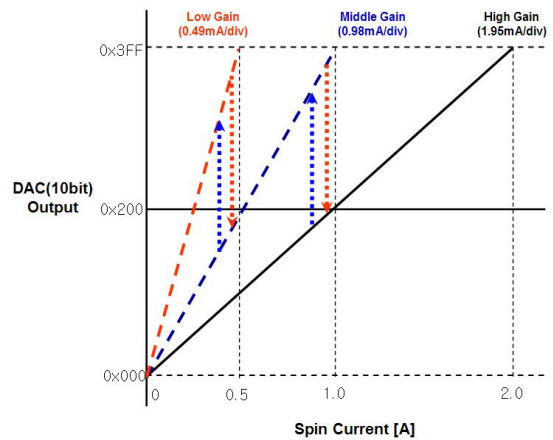


그림 1 비선형 임계값을 이용한 전류 이득 변경 방법
Fig. 1 Proposed adaptive spin gain switching method with nonlinear switching threshold

2.2 적응 전류 이득 변경 방법

기존의 전류 이득 변경 방법에는 몇 가지 문제점이 발생하였다. 첫 번째, 전류 이득 변경 기준이 모터의 속도였다. 이러한 방법은 저속에서 모터 유효율의 점도가 증가하면서 요구는 구동 전류에 변화됨에 따른 많은 문제점이 야기되었다. 따라서 본 논문에서는 속도가 아닌 현재의 구동 전류 DAC 값을 기준으로 변경되도록 설정한다. 둘째, 구동 온도 및 고동 전압 조건이 변경됨에 따라 전류 이득이 변경되는 구동 전류가 유지되는 경우 빈번한 전류 이득 전환이 발생하게 된다. 이러한 경우 각 전류 이득에 대한 전기적인 오프셋 차이로 인하여 스핀들 모터의 속도는 큰 변화를 보이게 됨으로써 그 부작용이 크게 발생

하는 경향이 있다. 따라서 본 논문에서 제시하는 적응 전류 이득 전환 방법은 그림 1에서와 같이 전류 이득 전환 임계값을 비선형적으로 설정하여 수행하도록 한다. 각 전류 이득 사이의 전환은 이득이 상승할 때와 하강할 때 각기 다른 임계값을 가짐으로서 빈번한 전류 이득이 전환되는 경우를 방지할 수 있다. 이러한 방법은 구동 온도 및 전압 조건 등의 여러 가지 환경 조건에서 제어 성능이 떨어지는 문제점을 효과적으로 해결할 수 있다.

2.3 실험 결과

기존 스피들 모터의 속도 궤적을 살펴보면 그림 2와 같이 가속 구간에서 발생한 오버 슈트를 제외하고 정속 구간에서 속도 변화량이 약 $\pm 0.5\text{RPM}$ 수준인 것을 알 수 있다. 그림 3은 본 연구에서 제안하는 적응 전류 이득 방법을 적용한 경우의 속도 궤적을 모니터링한 것이다. 정속 구간에서 속도 변화량은 약 $\pm 0.25\text{RPM}$ 으로 기존 대비 약 50%의 개선이 있음을 확인할 수 있다. 스피들 제어 성능을 효과적으로 판단할 수 있는 기준 중의 하나로 인덱스 지터(Index to Index Jitter)가 있다. 이는 모터의 정속 구동 중 오실로스코프를 이용하여 인덱스 시그널의 시간 변화량을 측정하는 값이다. 표 1은 기존의 고정 전류 이득을 이용하는 경우와 본 연구에서 제시하는 적응 전류 이득 변경 방법을 적용하였을 경우의 인덱스 지터를 측정하여 비교한 결과이다. 본 연구의 개선 방법을 각각 적용하였을 경우 약 40%의 지터 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

드라이브의 양산성을 고려하게 되면 빠질 수 없는 것이 부품의 단가이다. 본 연구에서는 추가적인 구동 하드웨어 및 모터 디자인 변경 없이 효과적인 시스템 구동 방법을 개선함으로써 제어 성능을 개선한 효과적인 방법을 제시하고 있다. 우수한 제어기 설계도 중요하지만 설계된 제어기의 성능을 제대로 발휘할 수 있는 시스템 구동 방법 개선의 좋은 예가 되었으면 한다.

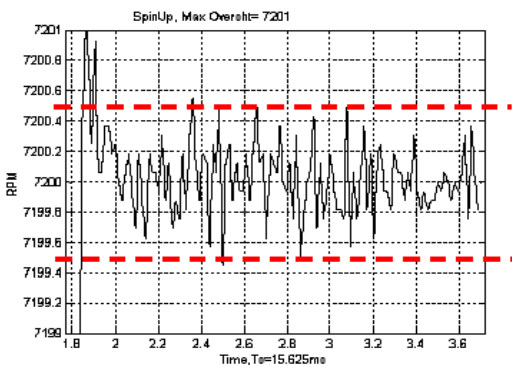


그림 2 고정 전류 이득 방법을 적용한 모터의 속도 궤적
Fig. 2 A velocity profile of spindle motor with previous constant gain control

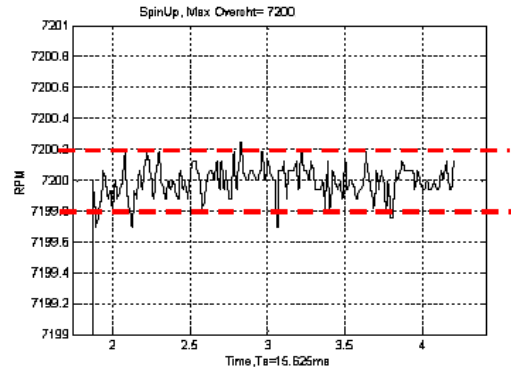


그림 3 본 연구에서 제안하는 적응 전류 이득 방법을 적용한 모터의 속도 궤적
Fig. 3 A velocity profile of spindle motor with proposed adaptive gain switching control

표 1 고정 전류 이득 방법 및 적응 전류 이득 변경 방법의 인덱스 지터 비교

Table 1 The comparison of index spin jitters for adaptive current gain switching method

Drive No.	Index Spin Jitter [nsec]	
	Constant Gain	Adaptive Gain
1	273	183
2	278	203
3	278	178
4	285	203
5	295	145
AVG	302	182

참 고 문 헌

- [1] H. S. Lee, "하드디스크 드라이브 서보 제어기의 설계," ICASE Magazine, pp. 22-28, 1998.
- [2] Hla Nu Phyu, Jabbar M.A. and Liu Z.J., "Computational optimization of the run-up performance of a HDD spindle motor," IEEE Electric Machines and Drives, pp. 1614-1619, 2005, May.
- [3] Yeh Wei-Hung, Bletscher Warren and Mansuripur M., "High resolution optical shaft encoder for motor speed control based on an optical disk pick-up," IEEE Scientific Instruments, pp. 3068-3071, Vol. 69, 2009.