

이동 평균 방법을 이용한 4배속 스핀들 모터의 제어 성능 향상 방법

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

A 4X Spin Control Method with Moving Average for Improvement of Control Accuracy in HDD

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

ABSTRACT

과거 불베어링을 이용하던 하드 디스크 드라이브(HDD: Hard Disk Drive)의 스핀들 모터는 유체 동역학 베어링(FDB: Fluid Dynamic Bearing) 장착으로 저전력 소비 및 고속 구동이 가능하게 되었다. 하드 디스크 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 인자 중의 하나가 되었다. 본 논문에서는 스핀들 모터의 샘플링 주기를 기존 대비 4배 증가하여 제어 성능 향상하는 4배속 스핀들 모터 제어 방법을 제시하고 있다.

1. 서 론

스핀들 모터의 제어 성능 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 식(1)과 같은 피드-포워드 제어를 적용한 PI 제어기 사용을 전제로 하고, 시스템에서 제어 성능을 향상하는 4배속 스핀들 모터 제어 방법을 제시하고자 한다. 기존의 스핀들 모터 구동은 모터 1회전에 1번의 역기전력을 이용하여 속도 제어를 수행하였던 반면, 본 논문에서는 기구적인 공차를 극복하여 모터 1회전에 4번의 피드백을 통한 제어를 수행함으로써 정속 유지 성능 및 강인 제어를 수행하는 방법을 설명하고자한다.

2. 이동 평균 방법을 적용한 4배속 모터 제어

2.1 4배속 스핀들 모터 제어

하드 디스크 드라이브에서는 스핀들 모터의 속도를 측정하기 위하여 별도의 엔코더 장치를 이용하지 않고 모터의 상에서 출력되는 역기전력(Back-EMF) 신호를 이용한다. 역기전력의 영점 통과 지점을 이용한 역기전력 신호는 모터 내부의 영구자석 극수에 비례한다. 일반적으로 3.5인치 하드 디스크 드라이브의 경우 8극 스핀들 모터를 이용하며, 역기전력은 모터 1회전에 4번의 주기로 발생한다[2]. 따라서 상승·하강 에지를 모두 각각 이용하면 최대 8회의 피드백 및 제어가 가능하다. 하지만 내부 영구자석 길이의 기구적 공차로 인하여 의사 지터라고 부르는 허위 오차(Pseudo Jitter)가 발생하여 별도의 보상회로 없

이 배속을 늘렸을 경우 오히려 제어 성능이 크게 떨어지는 경향이 있다. 따라서 기존의 구동 방법은 기구적 공차가 제로섬이 되는 1회전을 기준으로 1회만 피드백을 이용하는 것이 가장 안정적인 제어가 가능하였다[3].

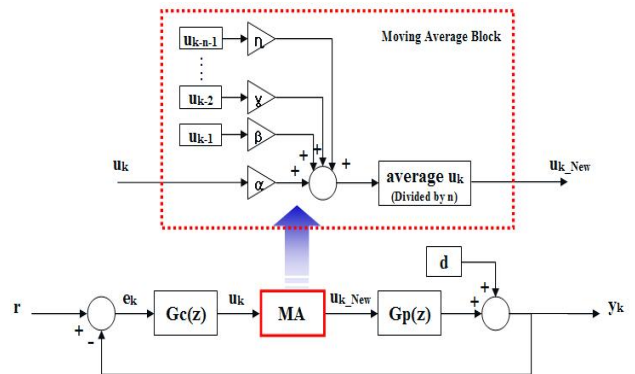


그림 1 본 연구에서 제안하는 이동 평균 방법의 블록 다이어그램
 Fig. 1 A block diagram of proposed moving average method

2.2 출력 이득 변경 방법

내부 영구자석의 길이차로 발생하는 허위 오차는 1회전에 해당하는 제어 입력 값들을 이용하여 이동 평균함으로써 보상할 수 있다. 그림 1은 본 연구에서 제안하는 이동 평균 방법의 블록다이어그램이다. 1회전에 해당하는 이전의 제어입력의 합으로 이동 평균함으로써 기구적인 공차에 의해서 발생하는 의사 지터를 제거할 수 있다. 추가적으로 각 제어 입력에 가중치를 두어 효과적인 제어도 가능하다.

본 논문에서 제안하는 n배속 스핀들 모터 제어의 경우 이동 평균을 이용한 제어 입력은 식(2)와 같이 표현할 수 있으며, 이 값은 식(3)과 같이 각 제어 입력에 가중치를 주고 증가된 샘플 수 n에 의해서 표현할 수 있다. 또한 식(1)과 식(2)를 정리하면 식(4)와 같이 기본 1배속 제어 이득이 n배속 스핀 제어로 변경되었을 때 제어 이득 변화를 정의할 수 있다. 8극 모터의 경우 최대 8배속 제어가 가능하지만 각 극의 변화가 커서 극쌍을 한 주기로 기준하여 4배속 제어를 수행하면 효과적인 모터 제어가 가능하다. 따라서 4배속 제어를 기준으로 볼 때 기존 1배속 제어기 이득 값에 비하여 비례 이득은 4배, 적분 이득은 그대로 사용하면 된다.

$$U_k = K_p E_{RR} + K_I \sum E_{RR} + K_{FF} \quad (1)$$

3. 결론

대용량 정보 저장기기에 대한 수요가 늘어감에 따라 양산되는 드라이브 수가 크게 증가되고 있는 시기에서 본 연구에서는 추가적인 구동 하드웨어 및 모터 디자인의 변경 없이 모터의 기구적인 제약을 알고리즘으로 극복함으로써 효과적인 시스템 구동 방법 개선을 통하여 정상상태의 제어 성능 향상을 도모하였다. 또한 스텝 응답을 통하여 건설제어가 가능한 것을 확인할 수 있었다.

표 1 적용 전류 이득 및 4배속 제어 방법에 따른 인덱스 지터 비교

Table 1 The comparison of index spin jitters for adaptive gain switching and 4X spin control methods

Drive No.	Index Spin Jitter [nsec]		
	1X	4X	Gain S/W & 4X
1	273	161	132
2	278	202	116
3	278	150	125
4	285	149	128
5	295	210	144
AVG	302	174	129

참고 문헌

- [1] H. S. Lee, "하드디스크 드라이브 서보 제어기의 설계," ICASE Magazine, pp. 22-28, 1998.
- [2] Quan Jiang, Chao Bi, and Ruoyu Huang, "A New Phase-Delay-Free Method to Detect Back EMF Zero Crossing Points for Sensorless Control of Spindle Motors," IEEE Trans. Magnetics, Vol. 41, No. 7, 2005, July.
- [3] Sang-Moon Hwang, Kyoungtae Kim, Weui-Bong Jeong, Yoong-Ho Jung and Beom-Soo Kang, "Comparison of vibration sources between symmetric and asymmetric HDD spindle motors with rotor eccentricity," IEEE Industry Applications Conference, pp. 186-189, Vol. 1, 2000.
- [4] Jin-Seak Kim, Kyoung-Whan Oh and Byoung-Kuk Lee, "Adaptive Current Gain Switching Method for Improvement of Control Accuracy in HDD," KIPE 추계 학술대회, 2010.

$$U_{k_MA} = F_P K_P E_{RR_MA} + F_I K_I \sum E_{RR_MA} + K_{FF} \quad (2)$$

$$E_{RR_MA}[k] = \frac{\alpha E_{RR}^*[k] + \beta E_{RR}^*[k-1] \dots + \eta E_{RR}^*[k-n-1]}{n} \quad (3)$$

$$U_{k_MA} = F_P K_P E_{RR_MA} + F_I K_I \sum E_{RR_MA} + K_{FF} \quad (4)$$

$$= F_P K_P \frac{1}{n} E_{RR} + F_I K_I \sum \frac{T_S}{T_{S_MA}} \frac{1}{n} E_{RR} + K_{FF}$$

$$= \frac{1}{n} F_P K_P E_{RR} + F_I K_I \sum n \frac{1}{n} E_{RR} + K_{FF}$$

$$= \frac{1}{n} F_P K_P E_{RR} + F_I K_I \sum E_{RR} + K_{FF}$$

$$\approx K_P E_{RR} + K_I \sum E_{RR} + K_{FF}$$

$$\therefore F_P = n, F_I = 1$$

2.3 실험 결과

스핀들 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. 그림 2는 정속 구동 중인 상황에서 스텝 입력을 이용하여 1배속 제어 및 4배속 제어의 속도의 변화 차이를 확인하는 스텝 응답을 검토한 결과이다. 4배속 제어의 경우 약 60% 이상의 오버슈트 감소와 약 30% 빠른 정속 구동이 가능한 것을 확인할 수 있다. 표 1은 기존의 고정 전류 이득을 이용하여 1배속 제어 방법을 수행하였을 경우와 본 연구에서 제시하는 적응 전류 이득 변경 방법, 4배속 제어 방법 및 두 가지 모두를 적용한 방법의 인덱스 지터를 측정하여 비교한 결과이다. 본 연구의 개선 방법을 적용하였을 경우 약 42%의 지터 개선을 얻을 수 있으며, 적응 전류 이득 변경 방법[4]를 함께 적용하였을 경우 약 57%에 달하는 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다.

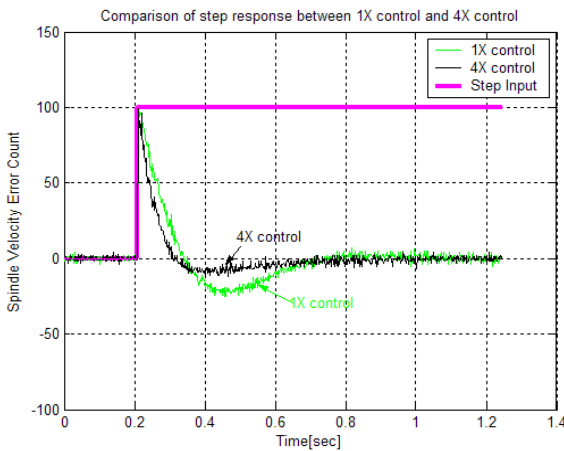


그림 2 1배속 제어와 4배속 제어를 이용한 스텝 응답 비교

Fig. 2 A comparison of step response between 1X and 4X spin control