

IQ 변조기법을 이용한 모터제어

류나이*, 안영주*, 이형기*
부경대학교 전기제어공학부*

USING IQ MODULATION MOTOR CONTROL

Na-Yi Ryu*, Young-Joo An*, Hyung-ki Lee*
Pukyong National University*

Abstract - 전동기는 일반적으로 우리 일상에서 가장 많이 쓰이는 동력장치 중 하나이다. 이런 전동기를 제어함에 있어서 주기적 외란은 전체 시스템의 안정성에 큰 영향을 미친다. 특히, 정밀제어시스템에서는 반드시 고려되어야 할 요소이다. 본 논문에서는 신호처리기법의 일종인 IQ 변조 알고리즘을 이용한 제어를 제안한다. 제안하는 제어알고리즘은 외란을 고려하지 않은 시스템모델에 대하여 설계되어진 제어기와 IQ 변조기법을 이용하여 외란을 추정하여 설계되어진 제어기로 이루어진다. 이 제어 알고리즘은 전동기에서 발생하는 주기적 외란에 의한 오차를 현저하게 줄인다. 본 논문을 통해 제안하는 제어알고리즘의 우수성과 타당성을 검증한다.

1. 서 론

전동기를 제어함에 있어 주기적인 외란은 공학 시스템에서 흔히 발생하며, 많은 문제를 발생시킨다. 예를 들어 대표적인 정보저장장치인 하드디스크에서 회전체가 가지고 있는 기계적 시스템은 정밀가공의 한계로 인해 불균형을 가지게 되고, 이로 인하여 회전시 주기적 외란을 갖게 된다. 따라서 하드디스크의 트랙킹의 정확도를 향상시키기 위해서 이러한 주기적 외란은 반드시 보상되어야 한다.[1],[2] 이러한 주기적 외란의 보상기법으로 내부모델원리에 근거한 반복제어기와 적응제어기법, 강인제어기법이 활발히 연구되었다.

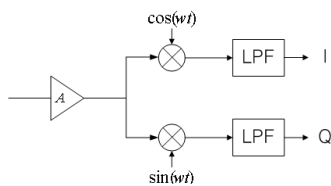
반복제어기는 상태궤환 제어기에 직렬형태로 추가되어 구성되며, 정상 상태에서 외란보상이 가능하지만 플랜트의 파라미터변동에는 강인하지 못하다. 그리고 적응제어기는 상태궤환 제어기에 병렬형태로 추가되어 구성되며, 보상되는 외란의 값이 반복적으로 갱신되므로 플랜트의 파라미터의 변동에 강인하다.[2]-[4]

본 논문에서는 신호처리 기법의 일종인 IQ 변조기법을 이용하여 주기적 외란을 추정하는 제어를 설계한다. IQ 변조기법은 일반적으로 RF 신호 처리에서 많이 사용되고 있다.[5],[6] 본 논문에서는 외란을 보상하기 위하여 제안하는 IQ 변조기법을 이용한 제어기는 외란을 고려하지 않고 설계된 제어기에 병렬형태로 추가되어 설계되어진다. 시스템의 에러신호는 IQ 변조기의 입력으로 이용되고 IQ 변조기의 출력은 $I+jQ$ 의 형태로 시스템의 입력신호에 더해져 실시간으로 외란을 보상하게 된다. 본 논문에서는 외부로부터 주기적인 외란이 가해지는 DC 모터 실험장치에 적용하여 IQ 변조기법을 이용한 제어기 성능의 우수성과 타당성을 검증한다.

2. IQ 변조기법을 이용한 제어알고리즘

2.1 IQ 변조

IQ 변조기법은 일반적으로 RF 신호처리에서 많이 사용되고 있는 신호처리 기법중 하나이다. 여기서, I와 Q는 각각 In-phase와 Quadrature phase를 말한다.



<그림 1> IQ 변조 구조

그림 1은 IQ 변조의 구조를 보여준다. 입력신호에 각각 sine wave와 그것과 90°위상차를 갖는 cosine wave를 곱함으로써 I와 Q를 얻을 수 있다. 즉, I, Q는 다음과 같다.

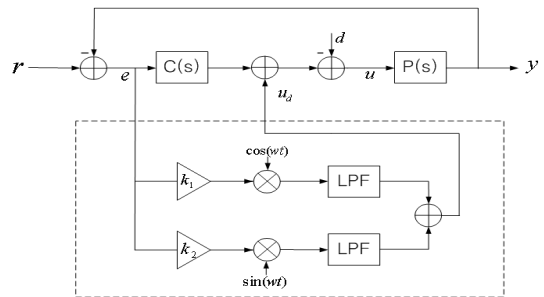
$$I = A(t)\cos(\omega t) \tag{1}$$

$$Q = A(t)\sin(\omega t)$$

따라서 I와 Q값은 식(1)에서와 같이 cos(실수부)와 sin(허수부)에 대응하는 개념이며, 신호가 $I+jQ$ 의 형식으로 나타내어지므로 IQ 변조기법은 위상을 고려할 수 있다는 큰 장점을 가진다. 또한 제어알고리즘으로 이용할 경우 나이퀴스트선도의 임계점의 이동이 가능하기 때문에 불안정한 시스템을 안정하게 할 수 있다는 장점도 가지고 있다.[7]

2.2 IQ 변조 제어알고리즘

IQ 변조 제어알고리즘은 외란을 고려하지 않고 설계되어진 제어기에 IQ 변조기법을 이용하여 설계되어진 외란을 보상하는 제어기를 병렬형태로 추가하여 구성된다. 그림 2는 IQ 변조 제어알고리즘을 보인다. 여기서 $P(s)$ 는 시스템을 말하며, $C(s)$ 는 외란을 고려하지 않고 설계된 제어기이다.



<그림 2> IQ 변조 제어알고리즘

입력되는 외란 $d(t)$ 는 다음과 같이 가정한다.

$$d(t) = A\sin(\omega_d t + \theta) \tag{2}$$

$$= a_1 \cos(\omega_d t) + b_1 \sin(\omega_d t)$$

여기서 A, ω_d 는 각각 외란의 크기와 위상이다.

그림 2로부터 출력 y 와 시스템의 입력 u 는

$$y = Pu \tag{3}$$

$$u = C(r-y) + u_d - d \tag{4}$$

이다. 식 (4)을 식 (3)에 대입하여 출력 y 에 대하여 정리하면

$$y = \frac{CP}{1+CP}r + \frac{P}{1+CP}(u_d - d) \tag{5}$$

이다. 또한 IQ 제어기의 출력 u_d 는 2.1에서와 같이

$$u_d = I+jQ = k_1 e \cos(\omega t) + k_2 e \sin(\omega t) \tag{6}$$

이다. 만일 $k_1 = \frac{a_1}{e}, k_2 = \frac{b_1}{e}, \omega = \omega_d$ 라면, $u_d - d = 0$ 이 된다. 따라서 출력 y 는

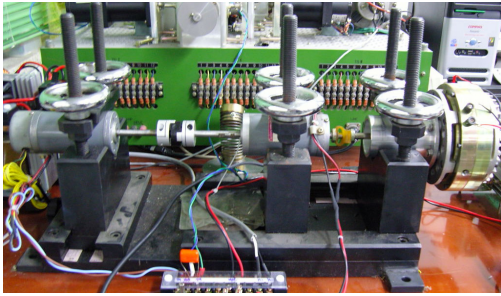
$$y = \frac{CP}{1+CP}r \tag{7}$$

이다. 즉 외란 d 는 완전히 제거된다.

3. 실험 및 결과 고찰

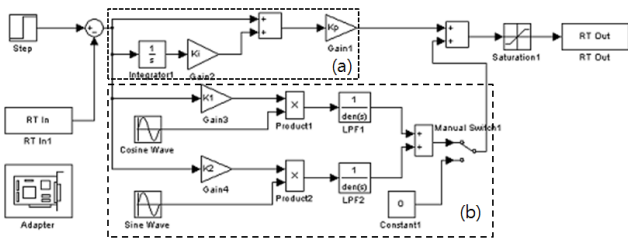
IQ 변조 제어알고리즘을 검증하기 위한 주기외란을 갖는 DC 모터 실험장치는 제어대상인 DC 모터, 속도피드백을 위한 타코제너레이터, 기계적 외란발생장치, 시스템의 제어를 위한 PC, 모터드라이버, 실시간 제

어신호 처리보드 등으로 구성된다. 그림 3은 본 논문의 타당성을 검토하기 위해 실제 구성한 주기의외란을 갖는 DC 모터 실험장치이다.



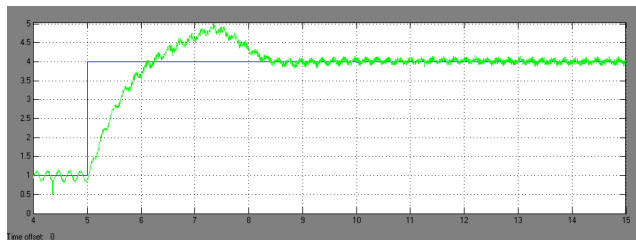
〈그림 3〉 DC모터 실험장치

제어기는 Matlab Simulink Realtime work 소프트웨어를 이용하여 제작하였으며, 실시간 제어신호 처리를 위한 하드웨어 보드는 HUMUSOFT의 MF614 multifunction I/O card를 사용하였으며, 이 MF614보드는 고속 연산을 위한 DSP 프로세서와 모터드라이버와 제어기인 PC사이의 신호처리를 위한 A/D·D/A 컨버터를 가지고 있다. 모터드라이버는 Cypress의 PSoC(Programmable System-on-Chip) 마이크로컨트롤러를 이용하여 PWM 형태의 제어신호를 만들고, 이 제어신호로 전력증폭기를 이용하여 모터 구동신호를 만들었다. 주기의외란을 발생하기위해 파워트랜스레이터를 이용하였으며, 파워트랜스레이터를 이용하여 입력을 주어 주기적인 외란을 발생시켰다.

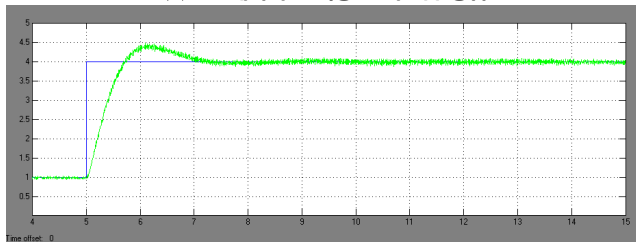


〈그림 4〉 주기의외란을 갖는 시스템의 I/Q 제어기 블록선도

그림 4는 주기의외란을 갖는 시스템의 IQ 제어기 블록선도를 나타낸다. 그림 4(a)는 외란을 고려하지 않고 설계된 PI 제어기이며, 그림 4(b)는 그림 4(a)와 병렬형태로 연결된 본 논문에서 제안하는 IQ 제어기이다. 본 논문에서 제안한 IQ 변조 제어알고리즘을 DC 모터의 속도 제어 시스템에 적용하여 주기 외란이 있을 때, PI 제어기와 비교실험을 하였다. 그림 5(a)는 PI 제어기를 적용한 주기의외란을 갖는 시스템의 응답이고, 그림 5(b)는 본 논문에서 제안하는 IQ 제어기를 적용한 동일한 시스템의 응답이다.



(a) PI 제어기를 적용한 시스템 응답



(b) IQ 제어기를 적용한 시스템 응답

〈그림 5〉 주기의외란을 갖는 시스템의 응답

그림 5(a) 시스템응답의 퍼센트 오버슈트는 33.3%이고 정착시간은 3.4초, 최고값 시간은 2.4초이다. 그림 5(b) 시스템응답의 퍼센트 오버슈트는 13.3%이고 정착시간은 2.1초, 최고값 시간은 1.2초이다. PI 제어기를 적용한 시스템의 경우 외란에 의해 퍼센트 오버슈트, 정착시간, 최고값 시간 모두 증가하였지만 IQ 제어기를 적용한 경우는 PI제어기보다 외란에 강인함을 볼 수 있다. 또한 그림 5(a)는 외란에 의한 응답의 진동이 있지만, 그림 5(b)는 외란이 제거되어 응답에 진동이 현저히 줄었음을 볼 수 있다. 따라서 PI 제어기보다 본 논문에서 제안한 IQ 제어기의 성능이 더 우수함을 보여준다.

4. 결 론

모터를 제어함에 있어서 주기적 외란은 시스템 전체의 안정성에 큰 영향을 미치는 요소이다. 본 논문에서는 IQ 변조 제어알고리즘을 기반으로 하는 외란에 강인한 IQ 제어기를 제안하였고 주기적 외란을 갖는 제어시스템에서 이를 제거하기 위한 PI 제어기와 IQ 제어기를 비교하였다. 그리고 주기의외란을 갖는 DC 모터 실험장치를 통하여 IQ 제어기 성능의 우수성을 검증하였다.

향후 연구방향으로는 주기적 외란뿐만 아니라 불규칙한 외란에 강인한 IQ 변조 제어알고리즘과 IQ 변조 제어알고리즘을 이용하여 나이퀴스트선도의 임계점 이동을 이용한 시스템의 안정문제에 대해 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.-J. Liu, and Y.-P Yang, "Comparison of AFC and FACT method for periodic disturbance suppression in optical disk drives," *IECON*, pp. 1987-1992, 2004.
- [2] 부찬혁, "디스크 드라이브의 주기적 외란 고속 보상기 설계", 제주대학교원 전기전자공학 석사학위논문, 2004
- [3] Yu-Lin Xu, "Using adaptive algorithm learning and rejection quasi-periodic perturbation", *Machine Learning and Cybernetics*, 2004. Proceedings of 2004 International Conference on Volume 2, 1060-1064, 2004
- [4] H.-S. Na, Y. Park, "An adaptive feedforward controller for rejection of periodic disturbances", *Journal of Sound and Vibration*, 201(4), 427-435, 1997
- [5] Ziomek, C.; Corredoura, P, "Digital I/Q demodulator", *Particle Accelerator Conference*, Volume 4, 2663 - 2665, 1995
- [6] Servetas, E. C, "Digital compensation in IQ modulators using adaptive FIR filters", *IEEE Trans*, Volume 53, 1809-1817, 2004
- [7] Servetas, E. C, "A Non-Linear Electronic Compensator for Automatic Control Systems", *IEEE Trans*, Volume IECI-22, 201-208, 1975