

스텝모터의 고성능 전류제어를 위한 R, L 파라미터 추정에 관한 연구

권혁주, 김현근, 진성민, 김준석
인천대학교

Study on the R, L parameter estimation for the high performance current control of the step motor

Hyuk-Ju Kwon, Hyun Geun Kim, Sung Min Jin, Jun Seok Kim
In-cheon national university

ABSTRACT

본 논문에서는 스텝모터의 고성능 전류제어를 위한 모터의 고정자 저항 및 인덕턴스를 Off-Line 추정하는 기법에 대해 기술한다. 모터의 고정자 저항 및 인덕턴스를 추정하기 위해 역기전력이 나타나지 않는 주파수영역에서 AC전압을 인가하고 이때의 전류를 측정한다. 또한, 가상 dq좌표계를 도입하여 정지좌표계상의 저역통과필터를 통해 위상 지연 없이 전류신호에 포함된 노이즈를 제거하였으며, DC형태의 전류에 대한 분석을 통하여 정확한 모터의 제정수를 계량하는 기법을 적용하였다.

1. 서론

PI 제어를 이용하는 스텝모터 드라이버의 경우 제어를 위해 모터의 고정자 저항과 인덕턴스의 정확한 값을 필요로 한다. 하지만 대부분의 경우 어떤 모터를 사용할지 알 수 없기 때문에 모터의 정확한 저항과 인덕턴스의 값을 측정할 필요가 있다. 본 논문에서는 구동초기의 Off-Line 상태에서 저주파수 및 고주파수의 전압을 인가하여 측정된 전류로부터 미지의 고정자 저항 및 인덕턴스를 추정한다. 또한, 가상 dq좌표계를 도입하여 정지좌표계상의 저역통과필터를 통해 전류의 기본파를 제외한 고조파를 소거함으로써 보다 정확한 고정자 저항과 인덕턴스의 값을 추정한다.

2. 본론

2.1 R, L 파라미터 추정원리

일반적으로 모터는 R과 L 성분으로 표현하며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Z = \sqrt{R^2 + (wL)^2} \quad (w = 2\pi * f) \quad (1)$$

R은 주파수의 영향을 받지 않으며, wL은 주파수에 따라 크기가 달라진다. 저주파수의 경우 Z는 R에 의해서만 결정되며, 고주파수의 경우 wL이 커지므로 Z는 R과 L에 의해

결정된다. 본 논문에서는 저주파수의 입력전압과 출력전류를 비교하여 R값을 도출하고, 고주파수의 입력전압을 통해 계산된 Z값에 R값을 대입하여 L값을 추정한다. 위의 내용을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$f : \text{저주파수}, Z = \frac{V}{I} \simeq R \quad (2)$$

$$f : \text{고주파수}, I_t = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \quad (3)$$

$$Z = V/I_t \quad (4)$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi * F} \quad (5)$$

2.2 알고리즘의 구성

PWM 전압을 통해 출력되는 AC전류는 크기와 위상을 측정하기 어렵다. 본 논문에서는 가상 dq변환을 통해 교류전류를 직류로 변환하여 보다 정확하게 R과 L을 추정한다.

모터의 역기전력 발생을 차단하기 위해 2상 스텝모터의 한 상을 단락 시킨 뒤 시뮬레이션을 진행하므로 그림1-(1)과 같이 단상의 전류가 출력된다. 출력된 전류를 그림1-(2)의 입력신호 a1로 정의하며 남은 입력신호는 가상의 q축을 통해 입력한다. 입력된 a1신호를 동기 좌표계상의 dq변환하면 DC형태의 전류가 출력되지만, 그림1-(1)에서 고조파 및 노이즈 성분이 포함되므로 그림1-(2)와 같이 왜곡된 형태의 DC전류가 출력된다. 왜곡된 형태의 DC전류는 그림1-(3)에서 충분한 차단 주파수(f_c)를 갖는 저역통과필터를 통해 고조파와 노이즈를 제거한다. 이 때 기본파의 주파수를 갖는 전류신호는 DC형태로 입력되므로 필터를 통과해도 위상 지연은 나타나지 않는다. 필터링된 전류를 역 dq변환하면 그림2-(4)와 같이 노이즈가 제거된 기본파의 성분만을 갖는 전류를 출력할 수 있고, 출력된 전류(그림1-(4)의 be)를 가상의 q축(그림1-(2)의 be)로 피드백 한다.

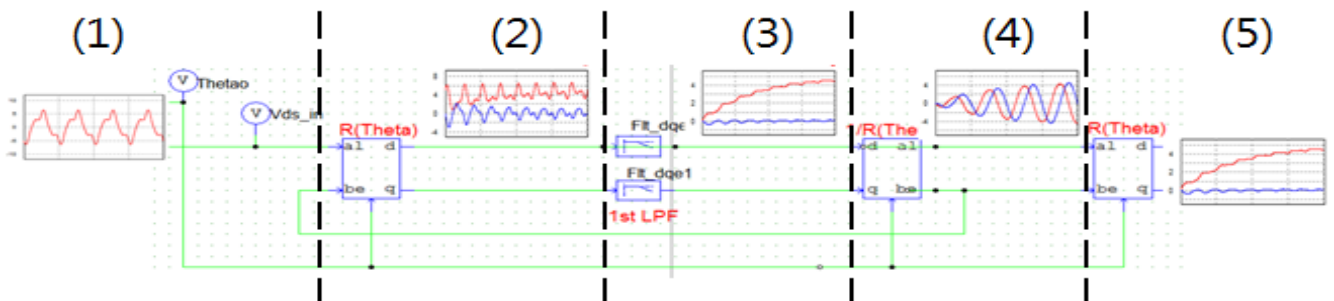


그림 1 R, L 검출부 Block도

가상의 q축은 저역통과필터의 특징 중 DC만을 출력하는 성질을 이용하여 피드백 되므로 al의 입력값과 비교하여 점차 90도의 위상차를 갖는 전류를 출력한다. 90도의 위상차를 갖는 가상 q축의 전류와 입력되는 al값을 최종적으로 그림1-(5)와 같이 동기좌표계 상에서 dq변환하면 DC형태의 전류가 출력되어 전류의 정확한 크기와 위상을 알 수 있다.

2.2 시뮬레이션 결과

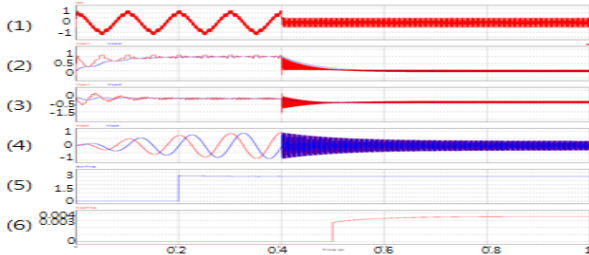


그림 2 주파수 변화에 따른 전압, 전류 및 Rs, Ls 출력 파형

10[Hz]의 저주파수 전압을 인가하여 R값을 추정 후, 0.4[s] 이후 500[Hz]의 고주파수 전압을 인가하여 L값을 추정한다. 2상 스텝모터의 경우 한 쪽을 단락 시킨 후 전압을 인가하기 때문에 모터가 회전 하지 않지만 교류전압으로 인한 진동으로 미세한 역기전력이 나타날 수 있다. 그러나 10[Hz]의 저주파수에서 역기전력의 성분은 무시할 수 있을 정도로 작다. 500[Hz]의 경우 모터의 관성 성분만으로 모터의 진동이 억제되므로 역기전력 성분이 거의 나타나지 않는다. 입력전압은 AC 3[V]이며 시뮬레이션을 위한 모터 제정수는 표1과 동일하다.

그림2-(1)은 모터에 인가되는 전류로 10[Hz]일 때 약 1[A]의 크기를 가지며 고조파 성분 및 왜곡된 파형이 나타난다. 그림2-(2)는 dq변환된 R에 흐르는 전류이다. 노이즈로 인해 왜곡된 전류가 저역통과필터와 dq변환을 거치면서 1[A]에 가까운 직류형태로 바뀌게 된다. 그림2-(3)은 dq변환된 L에 흐르는 전류로 0[A]에 가까운 전류가 출력된다. 그림2-(4)는 필터를 거친 후 역 dq변환된 파형으로 필터의 차단주파수($f_c = 5\text{Hz}$)에 맞춰 전류의 크기가 입력전류의 기본값으로 수렴하며 고조파가 제거된다. 그림2-(5)는 계산된 R값으로 변환된 전류값이 정상상태에 도달한 이후, 약 3[Ω]의 값을 갖는다. 그림2-(6)은 L값으로 정상상태 도달 후, 약 3.5[mH]의 값을 갖는다. 이것은 시뮬레이션을 위한 모터 제정수 2.9[Ω], 3.4[mH]와 비교하여, 10%미만의 오차를 가지며, 0.4[s] 이후 출력되는 전류는 $f = 500\text{[Hz]}$ 일 때 출력되는 값이다.

3. 실험 결과

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 스텝모터는 [SANYODENKI]사의 103H5208-0458을 사용하였다. 모터의 사양은 표1과 같다. 모터에 인가되는 전압은 AC 6[V]이며, 사전 R, L부하 실험을 통해 테드타임 및 스위칭 소자로 인한 전압 드롭을 보정 후, 본 실험을 진행 하였다. 상전류는 약1.6[A]이며 필터의 차단주파수(f_c)는 5[Hz]이다.

표1 [SANYODENKI]103H5208-0458 사양

모터종류	HB 스텝모터	Holding Toque	0.3 [N·m]
상수	2	Rs	2.9 [Ω/phase]
스텝각	1.8 [degree]	Ls	3.4 [mH/phase]
정격전류	1.2 [A/Phase]		

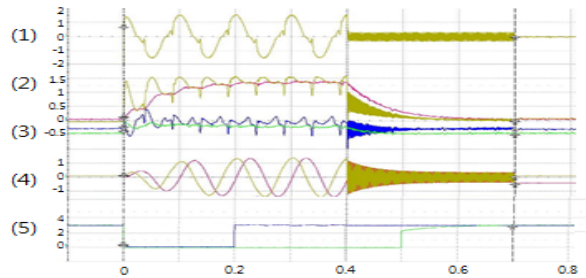


그림 3 주파수 변화에 따른 전압, 전류 및 Rs, Ls 출력 파형

그림3-(1)은 모터에 입력되는 전류이다. 크기는 약1.3[A]로 정상 출력 되지만, 역기전력 및 고조파 성분으로 파형이 조금씩 왜곡된다. 그림3-(2)는 dq변환된 R에 흐르는 전류로 필터와 dq변환을 거치면서 약1.3[A]의 직류전류를 갖게 된다. 그림3-(3)은 dq변환된 L에 흐르는 전류로 0[A]에 가까운 전류가 출력된다. 그림3-(4)는 저역통과필터를 거친 후 역 dq변환된 파형으로 차단주파수($f_c = 5\text{Hz}$)에 맞추어 입력 전류의 기본값을 추정하며 고조파가 제거된 것을 볼 수 있다. 그림3-(5)는 계산된 R값으로 정상상태 도달 후, 약 3[Ω]의 값을 갖는다. 그림3-(6)은 계산된 L값으로, 값을 쉽게 보기 위해 $\times 1000$ 을 하여 출력한다. 출력값은 정상상태 이후 약 3.1[mH]이다. 0.4[s] 이후 출력되는 전류는 $f = 500\text{[Hz]}$ 일 때 출력되는 값이다. 모터의 진동 및 스위칭 소자를 거치면서 생기는 전압 드롭 현상으로 시뮬레이션과의 오차가 존재하지만, 모터의 제정수에 근접한 R와 L 값을 추정할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 스텝모터의 고성능 전류제어를 위해 모터의 저항과 인덕턴스를 Off-Line추정하는 알고리즘에 대해 연구하였다. 10[Hz]의 저주파수와 500[Hz]의 고주파수를 입력하여 R과 L값을 추정하였고, 전류의 정확한 크기와 위상을 계산하기 위해 가상 dq좌표계와 저역통과필터를 사용하여 노이즈를 제외한 DC 전류를 출력 하였다. 또한, 시뮬레이션과 실험결과를 통해 본 논문에서 제시한 알고리즘을 검증하였다.

이 논문은 중소기업청에서 시행한 WC300프로젝트 기술개발지원사업(주관 :SPG) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] Yongheng Yang, Lenos Hadjdemetriou, Frede Blaabjerg, Elias Kyriakides (2015). Benchmarking of Phase Locked Loop based Synchronization Techniques for Grid-Connected Inverter Systems. ICPE(ISPE)논문집, 2167-2174.
- [2] L.Umanand, S.R. Bhat, Online estimation of stator resistance of an induction motor for speed control applications, IEE Proc-Power Appl., Vol. 142, No.2, March 1995.
- [3] Yoon-Seok Han, Jung-soo Choi, Young-seok Kim, The Speed and Position Sensorless Control of PMSM using the Sliding Mode Observer with the Estimator of Stator Resistance, 전력전자학회 1998년 연구회합동 학술대회논문집, 1998.11, 23-27 (5 pages)