

새로운 고성능 SRM 운전방식에 관한 연구

吳仁錫, 具仁守, 朴漢雄, 成世鎭

A Study on Novel High Performance SRM Drive

In-Seok Oh, In-Soo Koo, Han-Woong Park, Se-Jin Sung

요 약

본 연구에서는 SRM의 고성능 운전을 구현하기 위해 토크를 순시적으로 제어하기 위한 방법을 제시한다. 먼저 SRM의 토크-전류-회전자 위치각 특성을 측정에 의해 구하여 이를 기기의 모델로 설정한다. 이를 바탕으로 각 상간의 토크중첩을 고려하여 부하와 속도의 변동에 따라 총합 발생토크를 순시적으로 제어함으로써 맥동성분을 최소화시키는 기준토크를 설정하고, 이 기준토크를 추종하기 위한 기준 상전류의 파형을 구한다. 이러한 기준전류를 추종하는 방안으로써 PWM에 의한 델타변조(Delta Modulation) 기법을 사용한다. 실험과 시뮬레이션과 실험결과를 비교함으로써 제안된 방식의 타당성을 입증한다.

ABSTRACT

This paper proposes an instantaneous torque control method for the high performance SRM drive. In first, we establish SRM model with the characteristics of the torque, phase current and rotor position which were measured in the experimental SRM. Based on this model, the reference torque waveform to minimize torque ripple is obtained by the control of resultant torque considering phase torque overlap according to the variation of load and speed. And the reference current waveform for the tracking of reference torque are decided. The control method for tracking the reference current is used the delta modulation technique. The proposed method is validated by the comparing with simulation and experimental results.

Key Words: Switched Reluctance Motor, Instantaneous Torque Control, Torque Ripple, Delta Modulation.

1. 서 론

SRM은 구조가 간단하여 제작이 용이하고 관성이 적을 뿐만 아니라 발생토크가 크고 넓은 범위에서 속도제어가 용이하며 제어회로가 간단한 등의 많은 장점을 가지고 있으나 적절한 스위칭을 위한 회전자 위치정보가 필요하며, 펄스형 전원에 의해 구동되므로 토크의 맥동과 소음이 크다는 단점이 있다. 특히, SRM의 상용화에 가장 큰 장애요인으로 작용하는 것은 회전축에서 발생하는 맥동토크이며 이에 의해 기기 자체는 물론이고 주변장치에까지 여러 가지 악영향을 미친다. 이러한 맥동토크를 저감시키기 위한 방법으로 다양한 방안이 국내외 연구자들에 의하여 제시되었다^{1,2}. 그 중 대표적인 것으로는, 고정자나 회전자의 구조와 같은 설계사

양을 변화시키는 방법과, 인가전압·전류의 크기, 턴 온과 턴 오프각 및 부하 등의 운전 파라미터들을 최적으로 조합시켜 운전하는 제어기법이 있다. 전자의 방법은 일반적으로 전동기의 특성저하를 수반하게 되지만, 후자는 평균토크가 감소하지 않는다는 장점이 있다. 이러한 제어기법의 하나로서, 스위칭 온 및 오프각 제어에 의한 단일펄스 모드의 구동방식은 비선형적인 인덕턴스의 변화에 대응하는 순시적인 전류의 크기를 제어할 수가 없어 평활토크를 위한 완전한 해결책이 될 수 없을 뿐만 아니라 각 상 사이의 토크중첩에 의한 영향은 고려하지 않음으로써 그 개선효과가 미비하였다. 또 토크를 정확히 제어하기 위해서는 모든 전류값 및 회전자 위치각에 대한 연속적인 인덕턴스값을 알아야 한다. 그러나 이러한 연속적인 인덕턴스 프로파일 모두를 측정에 의해서

구하기는 불가능하므로, 몇 가지 경우의 측정된 데이터들로부터 적절한 수단에 의해 이 값들을 얻는 방법을 사용해 왔지만 그 결과는 그다지 만족스럽지 못했다^[5-6]. 더욱이 SRM의 자기회로가 포화되면 인덕턴스와 토크 사이의 관계에 오차가 발생하므로 정도 높은 토크제어를 할 수 없게 된다.

따라서 본 연구에서는 SRM의 맥동토크를 최소화시키기 위해 기존의 방식과는 달리 인덕턴스 프로파일이란 아닌 토크 프로파일로써 기기를 모델링한다. 이를 위해 몇 가지 대표적인 경우에 대해 측정된 토크 데이터로부터 퍼지추론 기법을 사용하여 전류 및 회전자위치각의 미소변화에 대한 토크 프로파일을 구한다. 이를 바탕으로 각 상간의 토크중첩을 고려하여 부하변동에 따라 총합 발생토크의 맥동성분을 최소화시키는 기준토크 파형을 설정하고, 이 기준토크를 추종하기 위한 각 상의 기준전류의 파형을 구한 뒤 DSP를 이용하여 가변밴드폭을 갖는 뱅뱅(bangbang) 제어에 의해 기준전류를 추종하는 새로운 제어방식을 제안한다. 나아가 실험과 시뮬레이션을 통해 얻은 결과로부터 제안된 방식의 타당성을 입증함으로써, 본 연구가 SRM의 맥동토크를 최소화시키기 위한 효율적인 방법임을 보이고자 한다.

2. 맥동토크의 제어 방법

그림 1은 본 연구에서 사용된 대표적인 형태의 6/4 SRM의 구조와 구동회로를 나타낸다. SRM은 토크 발생기구가 매우 비선형적이고 불연속적이기 때문에 기존의 전동기에 비해 소음이나 맥동토크가 큰 단점이 있다.

SRM의 총합토크는 독립적으로 제어되는 고정자 각 상의 토크 성분의 합으로 나타나므로, 상전류가 인접한 상으로 여자가 전이되는 순간에 토크맥동이 가장 크게 나타난다. 따라서 맥동토크를 최소화할 수 있는 최적의 기준토크를 설정하고 이를 추종하기 위해 대응하는 상전류 파형을 도출할 필요가 있다. 이때, 토크를 직접 제어하기 위해서는 회전자위치각과 상전류의 크기에 따른 토크 프로파일을 측정하여, 이를 SRM의 모델로 사용한다.

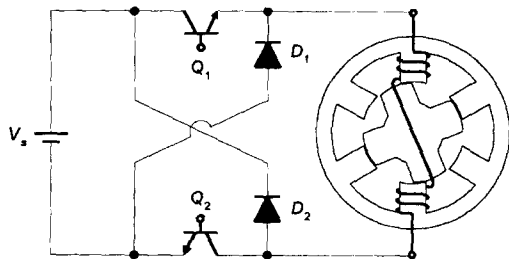
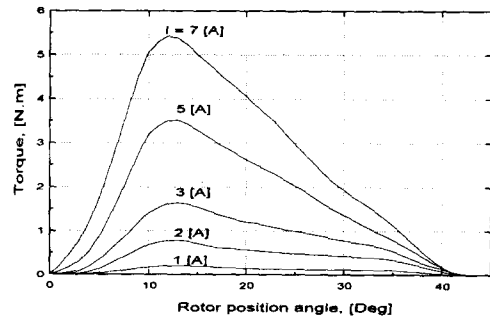
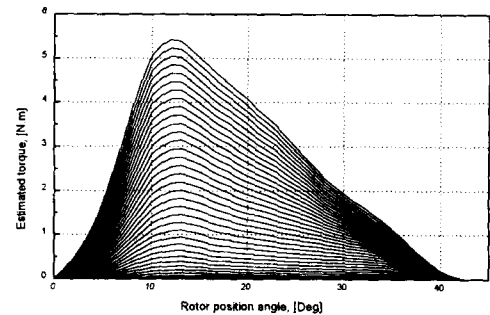


그림 1 6/4 SRM의 구조 및 구동회로
Fig. 1 The structure of 6/4 SRM and its drive circuit



(a) Measured torque



(b) Predicted torque by fuzzy inference

그림 2 피시험 전동기의 토크-전류-회전자 위치각 특성
Fig. 2 Torque-current-rotor position angle characteristics of SRM under test

그림 2(a)는 피시험 전동기에서 일정한 크기의 전류를 흘렸을 때 회전자 위치각을 1°씩 변화시키면서 토크를 측정된 파형이다. 측정시 상전류는 정격값인 7[A]까지로 제한시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 토크 발생영역은 회전자각도 0°부터 44°까지 총 44°의 범위임을 알 수 있다. 그림 2(b)는 본 논문에서 사용한 토크 프로파일로써, 실제 측정된 토크 파형으로부터 퍼지추론에 의해 0.1[A], 0.1° 단위로 추론한 것이다.

피시험 전동기의 모델로써 그림 2(b)와 같은 토크 프로파일을 사용할 경우, 그림 3의 T_A , T_B 는 정격전류에서 각각 A상 및 B상에서 발생되는 토크의 크기를 나타내고,

T_{sum} 은 각 상의 발생토크의 합을 나타낸다. 회전자의 위치에 따라 인덕턴스의 크기가 변화하기 때문에 일정한 전류값에서도 토크의 크기가 다르게 나타나고 있으며, 자기포화의 영향으로 보통 좌우 비대칭인 형상을 띠고 있다. 또 전류의 크기에 따라 토크의 크기가 달라지는 것도 당연히 예상할 수 있다. 따라서 이와 같은 비대칭 펄스형의 상당 토크로써 평활한 총합토크를 발생시키기 위해서는, 전류의 크기와 회전자위치각의 변화에 따른 토크를 측정하고 이 데이터를 표로써 구성한 뒤 적절한 알고리즘에 의해 순시적으

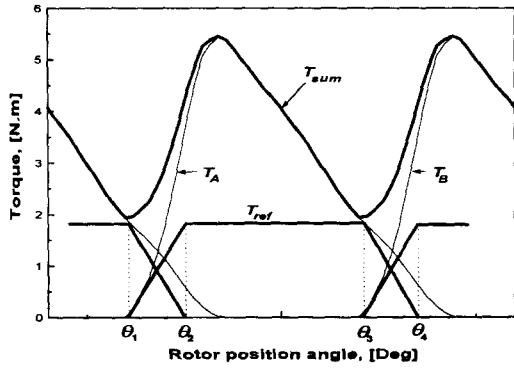


그림 3 최대 평활토크 발생을 위한 기준토크 파형선정
Fig. 3 Selection of reference torque for maximum ripple free torque generation

로 토크를 제어할 수 있는 시스템을 채택하여야 한다. 단, 그림의 T_{sum} 파형으로부터 알 수 있듯이 피시험전동기의 특성 상 정격전류의 범위에서 발생시킬 수 있는 최대 평활토크는 대략 1.8 [N.m] 정도에 지나지 않음을 지적해 두고자 한다. 이를 개선하기 위해서는 가능한 한 상당 발생토크의 형상이 좌우대칭이면서 그 중앙부가 평활하도록 기기를 설계해야 한다.

본 연구에서는 주어진 부하토크에 따라 평활토크를 발생시킬 수 있는 기준토크의 파형을 그림 3과 같이 사다리꼴 형태로 설정하여 실제 토크가 이 궤적을 추종하도록 제어한다. 그림에서 최대 평활토크를 발생시키기 위한 기준토크의 설정방법을 도식적으로 나타내고 있으며, 이때 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 는 3부분으로 나누어진 기준토크 영역의 경계를 구분하는 각도를 나타낸다. 기준토크의 설정시 우선적으로 고려해야 할 조건은 다음과 같다.

- (a) 기준토크의 시작각도는 토크의 발생영역 내에 속해야 한다.
- (b) 한상의 기준토크의 시작각도는 인접한 상의 기준토크의 하강 시작각도와 일치하여야 한다.
- (c) 기준토크의 상승 및 하강구간의 기울기는 각 상의 실제 발생토크 범위를 넘지 않도록 고려하여 설정하여야 한다.
- (d) 전류의 변화율을 작게 하기 위해 기준토크의 평활부는 가능한 한 좁게 설정하는 것이 좋다.

우선, 위와 같은 조건에 의해 상당 기준토크를 그림과 같이 등변사다리꼴 형태로 설정할 경우, 다음과 같은 식을 만족해야 한다.

$$2\theta_c + \theta_f \leq \theta_r \tag{1}$$

여기서, $\theta_c (= \theta_2 - \theta_1)$, $\theta_f (= \theta_3 - \theta_2)$, $\theta_r (= \theta_4 - \theta_1)$ 는

각각 기준토크의 상간중첩각, 평활영역각, 전체영역각이다. 또한 SRM의 고정자/회전자 극이 6/4일 경우 각 상은 30°의 위상차를 가지므로 상간 중첩영역에서 평활토크를 발생하기 위해서는 다음 식 역시 성립해야 한다.

$$\theta_c + \theta_f = 30^\circ \tag{2}$$

따라서, 본 논문에서 사용된 피시험 전동기의 토크 발생영역이 44°인 것을 감안하면, θ_c 와 θ_f 의 설정가능한 범위는 식 (1)과 (2)로부터 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$0^\circ \leq \theta_c \leq 14^\circ, 16^\circ \leq \theta_f \leq 30^\circ \tag{3}$$

또한, 토크가 발생되기 시작하는 각인 θ_1 에 대해 기준토크의 시작각을 θ_D 만큼 지연시킨다면 θ_c, θ_f 에 대한 추가 조건식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$2\theta_c + \theta_f \leq \theta_r - \theta_D \tag{4}$$

따라서 위와 같은 조건하에서, 기준토크의 $\theta_D, \theta_c, \theta_f$ 를 어떻게 설정하느냐에 따라 평활토크를 발생할 수 있는 범위가 결정되며, 3 변수 중 한 변수는 나머지 두 변수의 종속변수로 나타낼 수 있다. 여기서 다음의 사실을 지적해 두고자 한다. 먼저, 전술한 바와 같이 전류의 상승률을 고려하면 가능한 한 기준토크의 상승 및 하강영역을 넓게 하여 그 기울기를 감소시키는 것이 좋음을 알 수 있다. 그러나 그림 3에서 알 수 있듯이 상간중첩영역인 θ_c 는 $(\theta_2 - \theta_1)$ 의 크기를 초과할 수 없다. 이는 최대토크 발생영역의 시작과 종료부분의 기울기에 의해서 이미 결정되기 때문이다. 다음으로, 기

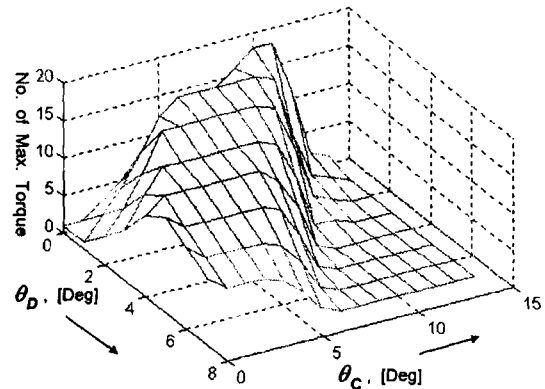


그림 4 θ_D 와 θ_c 의 변화에 따른 최대 평활토크의 발생 범위
Fig. 4 The range of ripple-free torque generation when varying θ_D, θ_c

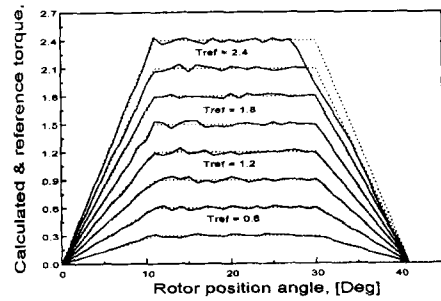
준토크의 지연각인 θ_D 의 값이 커지면 커질수록 기준토크 크기의 하강부분에서 실제 토크가 기준토크를 추종하지 못할 것임을 예상할 수 있다. 이는 회전자극의 위치가 고정자극과 정렬(aligned)된 위치 부근에 있으므로 해서 인덕턴스값이 커져 전류의 변화가 급속히 이루어지지 않기 때문이다. 따라서 이 경우 전류의 소호를 촉진시키기 위해서는 인가전압보다 더욱 큰 전압을 역방향으로 인가해야 하지만 이는 회로의 구성을 복잡하게 하고 소자의 정격을 증가시켜야 하는 단점이 있기 때문에 효과적인 방법이 되지 못한다. 따라서, 가능한 한 θ_D 의 값을 작게 할 필요가 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 하여 각 파라미터에 대한 범위를 대략적으로 설정할 수 있지만, 이를 좀더 구체화하여 고정도의 맥동토크 저감 제어를 위해서는 보다 정확한 값을 구하여 이에 따라 전체 시스템을 추종시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는, 시뮬레이션을 통하여 부하의 크기에 따라 θ_D , θ_C 의 값을 변화시키면서 평활토크의 발생범위를 구하였다. 시뮬레이션은 다음과 같은 과정을 거쳐 행했다. 먼저 회전자위치각과 일정전류하에서 측정된 SRM의 토크 프로파일을 데이터베이스형식으로 저장하였다. 그리고 주어진 부하의 크기에 따라 θ_D , θ_C 의 값을 변화시키면서 기준토크의 파형을 설정하고, 이러한 기준토크를 발생시킬 수 있는 기준전류를 토크 프로파일로부터 도출하였다. 이상과 같은 방법을 이용하여 정격전류 이하의 범위에서 0.1(N.m)씩 부하의 크기를 변화시켰을 경우, θ_D 및 θ_C 의 크기에 따라 평활토크가 발생되는 경우의 수를 3차원 그래프로 나타낸 것이 그림 4에 주어져 있다.

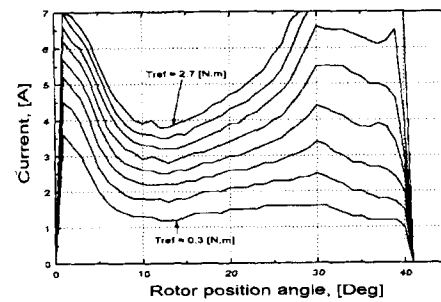
그림으로부터 알 수 있는 것은, 예상한 바와 마찬가지로 $\theta_D = 0^\circ$ 일 때가 평활토크를 발생시킬 수 있는 범위가 가장 크며, 이 값이 커질수록 전류의 소호가 신속히 이루어지지 않음으로써 그 범위가 점점 감소하고 있음을 알 수 있다. 또 어떤 임계치까지는 θ_C 가 커질수록 평활토크의 발생범위가 커지지만 그 이상이 되면 범위가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이 역시 예상된 결과로써, 전술한 바와 같이 SRM 고유의 토크 특성에 기인하는 것이다.

따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 해석 결과를 토대로 평활토크 발생을 위한 기준토크의 각 파라미터를 $\theta_D = 0^\circ$, $\theta_D = 11^\circ$ 의 값을 갖는 사다리꼴 형태로 선정하였다.

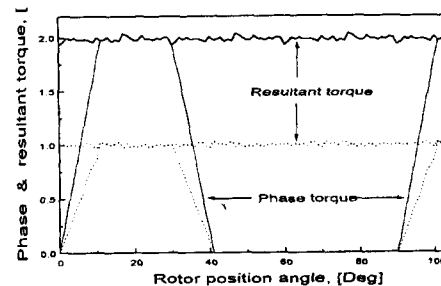
그림 5는 이상의 결과로부터 $\theta_D = 0^\circ$, $\theta_D = 11^\circ$ 및 $\theta_C = 19^\circ$ 로 설정한 경우의 기준토크 및 모의실험 토크와 그에 상응하는 기준전류의 형상을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 점선으로 나타낸 것은 기준토크 파형이고, 실선으로 나타낸 것은 측정된 토크 프로파일의 데이터에 의해 계산한 추종토크 파형이다. 이 그림으로부터 알 수 있는 것은 모의실험에 의한 최대 평활토크는 1.8(N.m)가 되며, 이 크기를 넘어서는 2.1(N.m) 및 2.4(N.m)인 경우는 기준토크의 후



(a) 기준토크 및 모의실험
(a) Reference torque and simulation



(b) 평활토크를 위한 모의실험 전류파형
(b) Current simulation waveform for the flat torque



(c) 상토크 및 각상 토크의 합
(c) Phase torque and resultant torque

그림 5 $\theta_C = 11^\circ$, $\theta_D = 0^\circ$ 로 설정한 경우 부하의 크기에 대한 모의 실험 토크 및 전류 파형.

Fig. 5 Simulated torque and current waveforms in case of $\theta_C = 11^\circ$, $\theta_D = 0^\circ$ with the variations of load.

반부에서 설정한 전류제한치 때문에 추종성능이 양호하지 못하게 되어 맥동토크를 발생하게 된다. 이러한 각 기준토크를 추종하기 위한 기준전류 파형을 그림 5(b)에 나타내었으며, 최대 평활토크의 발생범위를 넘어서는 두 경우 전류의 형상이 제한치에서 포화되는 것을 알 수 있다. 그림의 (c)는 상당 토크 및 총합 토크를 합을 나타낸 것으로, 총합 토크의 맥동성분은 대략 5% 이내에서 억제되고 있음을 알 수 있다. 이상의 모의실험 결과는 이미 예측한 바와 일치

하며, 본 논문에서 설정한 조건이 평활토크를 발생시킬 수 있는 최적 조건임을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

상간중첩을 고려하여 SRM의 평활토크 운전을 위한 전체시스템의 구성은 그림 6과 같이 DSP(TMS320C40-50)를 이용한 제어기, IGBT모듈을 사용한 인버터, 전류 및 위치 센서, 전동기등으로 구성되어 있다. 본 실험에 사용된 전동기는 회전자 극호가 고정자 극호보다 10° 넓으며 기저속도가 1800[rpm]으로 설계된 3[Hp]급 3상 6/4 SRM이다.

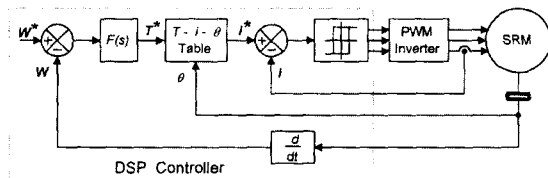


그림 6 시스템 하드웨어
Fig. 6 System hardware

부하로서는 속도와 토크의 크기를 부하측에서도 조사할 수 있는 디지털 컨트롤러블 다이내모 시스템을 사용하였다. 그리고, DSP 전용 에뮬레이터를 통해 컴퓨터와 통신으로 프로그램 전송하고 컴파일한다. DSP 컨트롤러는 상전류를 제어하기 위한 전류제어기인 PWM발생기, 속도제어기, 엔코더에 의한 속도검출기 등으로 구성되어 있다. 속도제어기는 지령속도 ω^* 와 실제속도로부터 계산한 SRM의 실제속도 ω 의 차이를 제어하여 토크 지령치인 T^* 를 만든다.

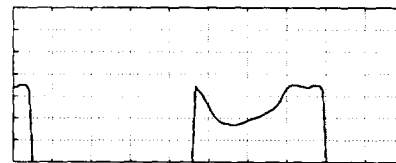
이 토크 지령치로부터 회전자 위치에서 평활한 토크를 발생시킬 수 있는 전류지령치 i^* 를 테이블로부터 구한다. 또한 각각의 전류제어기는 전류지령치 i^* 와 전류센서를 통해 얻어진 상전류를 비교하여 실전류가 지령전류를 추종하게 한다. 여기서 전류센서를 제외한 모든 부분은 DSP 제어기 부분으로 구현되었다.

본 실험의 목적인 평활 토크를 발생하기 위해서는 SRM의 회전자 위치 및 원하는 토크의 크기에 따라 적절한 전류의 형상이 필요하다.

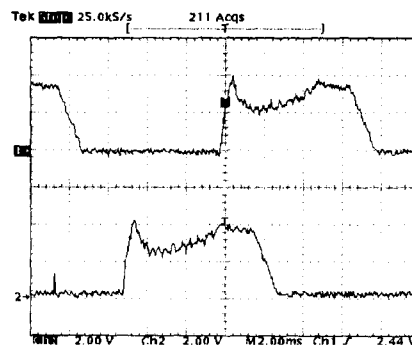
이러한 순시적인 전류의 크기를 제어하기 위해 순시 가변전압원을 인가하여 델타변조기법을 통하여 원하는 전류형상을 제어하였다. 이때 델타변조기법에서 전류 밴드폭은 0.4[A]로 설정하였다.

그림 7은 1000[rpm]의 속도에서 부하가 1.0[N.m]인 경우에 대한 전류 및 토크 파형을 나타낸 것으로 (a)는 이 조건에서 평활토크를 발생시키기 위해 필요한 기준전류 형상

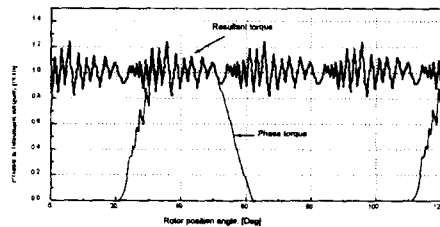
이며 (b)는 실제 구동전류를 측정된 파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 상전류 확립시에는 인덕턴스의 크기가 작기 때문에 실제전류가 지령전류를 양호하게 추종하나, 소호시에는 인덕턴스의 값이 클 뿐만 아니라 이미 확립되어 있는 전류값이 크기 때문에 전류소호를 위한 시간이 크게 소요된다. 따라서 지령전류를 양호하게 추종하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그림 7(c)는 (b)의 3상 상전류파형 데이터와 그림 2(b)의 추정토크 값으로부터 해당 토크 및 총합토크를 계산하여 나타낸 결과이다. 총합 맥동토크의 크기는 부하에서 요구되는 평균토크 값에 대해 최대 20[%]정도의 크기를 나타냄을 알 수 있다. 이를 영역별로 고찰해보면, 한 상의 기준토크가 평탄한 부분에서 상대적으로 큰 맥동토크가 발생하



(a) 지령전류 파형(1A/div)
(a) Reference current waveform(1A/div)



(b) 실험 전류파형
(b) Experimental current waveform



(c) 상 토크 및 총합토크
(c) Phase torque and resultant torque

그림 7 1000[rpm], 1.0(N.m)
Fig 7 1000[rpm], 1.0(N.m)

고 있다. 이는 전체 맥동토크의 주원인이 전류제어의 밴드폭에 의해 나타나는 맥동토크가 되기 때문이다. 이러한 맥동성분을 저감하기 위해서는 전류의 밴드폭을 가능한 한 좁게 설정하여야 하나, 이는 스위칭주파수를 증가시켜 전체 시스템의 효율을 저하시키는 단점이 있다. 따라서 밴드폭의 설정은 이러한 관점에서 적절한 절충이 필요하다. 또한 전류의 소호영역에서는 실제전류가 기준전류를 양호하게 추종하지 못하므로써 약간의 負토크가 발생하지만, 그 크기는 전류의 밴드폭에 의한 것보다 작다

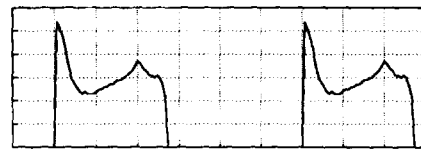
그림 8은 속도가 1,000(rpm), 부하토크가 2.0(N.m)인 경우의 측정파형을 나타낸 것이다. 그림 8(a)와 (b)로부터 전류의 소호영역에서는 실제전류가 지령전류를 거의 추종하지

못함을 알 수 있으며, 이로 인하여 상간 중첩영역에서 부토크가 발생하여 총합토크는 지령토크보다 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 부하토크가 큰 경우 전류제어의 밴드폭에 의해 나타나는 맥동토크보다 상전류 확립 및 소호시에 발생하는 맥동토크가 전체 맥동토크의 주된 원인이 되고 그 폭이 크게 나타남을 알 수 있다.

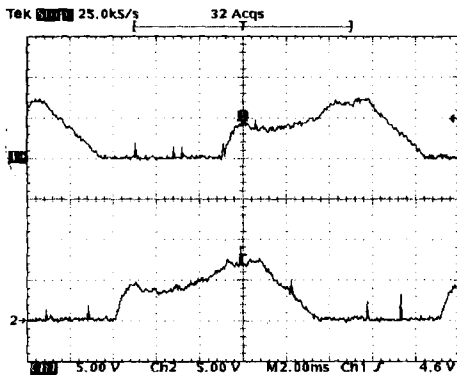
그림 9는 전동기 속도가 500(rpm), 부하가 1.0(N.m)인 경우로, 그림 7의 경우에 비해 회전속도가 감소함으로써 (b)에 나타난 실제 측정전류는 전류의 확립 및 소호시간 측면에서 기준전류를 더욱 양호하게 추종함을 알 수 있다. 그러나 토크 파형을 나타낸 그림 9(c)에서 알 수 있듯이 전류밴드폭이 기준전류의 크기에 비하여 상대적으로 상당히 크므로,



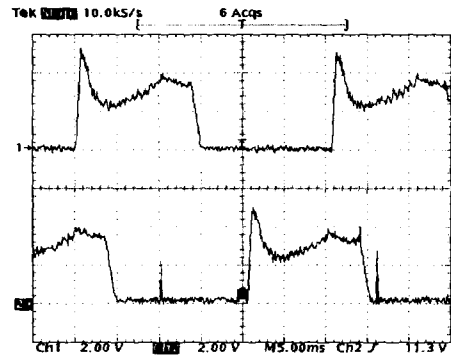
(a) 지령전류 파형(2A/div)
(a) Reference current waveform(2A/div)



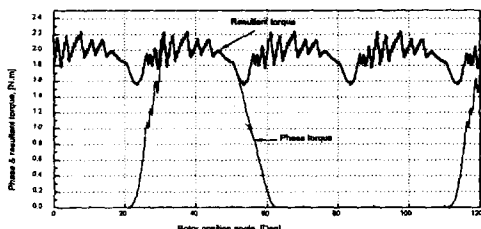
(a) 지령전류 파형(1A/div)
(a) Reference current waveform(1A/div)



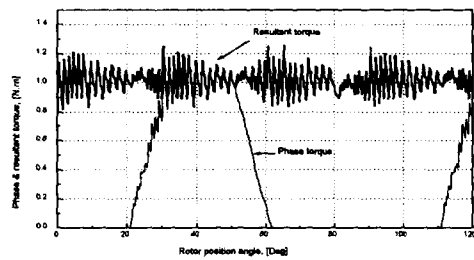
(b) 실험 전류파형
(b) Experimental current waveform



(b) 실험 전류파형
(b) Experimental current waveform



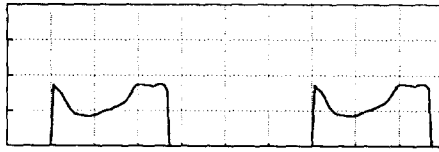
(c) 상 토크 및 총합토크
(c) Phase torque and resultant torque



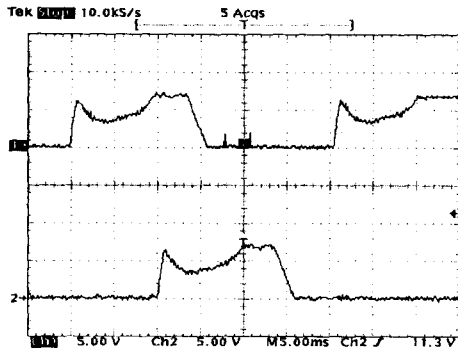
(c) 상 토크 및 총합토크
(c) Phase torque and resultant torque

그림 8 1000(rpm), 2.0(N.m)
Fig 8 1000(rpm), 2.0(N.m)

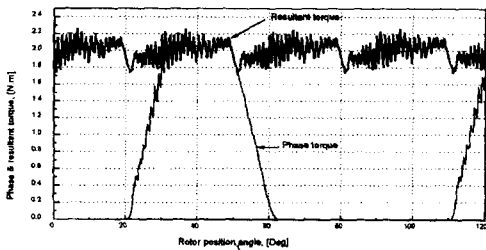
그림 9 500(rpm), 1.0(N.m)
Fig 9 500(rpm), 1.0(N.m)



(a) 지령전류 파형(4A/div)
(a) Reference current waveform(4A/div)



(b) 실험 전류파형
(b) Experimental current waveform



(c) 상 토크 및 총합토크
(c) Phase torque and resultant torque

그림 10 500(rpm), 2.0(N.m)
Fig 10 500(rpm), 2.0(N.m)

상간 중첩에 의해 발생하는 토크맥동보다 한 상에 의해서만 발생하는 토크 맥동이 토크 맥동의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 최대 맥동토크의 크기는 역시 약 20(%) 정도이며, 부하토크의 크기가 같은 그림 7(c)와 비교하면 회전속도의 감소에 의해 상간 중첩에 의한 맥동성분은 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

그림 10은 부하토크를 2.0(N.m)로 변화시킨 경우로, 실제 구동전류는 전류값이 크기 때문에 전류의 확립 및 소호시에 기준파형을 양호하게 추종하지 못한다. 이로 인해 인덕턴스의 변화율이 음인 영역에서 전류가 흘러 부하토크가 발생하여 중첩구간에서 맥동토크가 다소 나타난다. 최대 맥동토크의 크기는 대략 14(%)로 감소하나, 총합토크의 맥

동성분의 주원인은 전류소호시간의 증가로 인한 상간 중첩영역의 맥동토크가 됨을 알 수 있다.

이상의 실험결과로부터 알 수 있는 사실은 전동기의 회전속도가 빠를수록 그리고 부하토크가 커질수록 전류제어기의 밴드폭에 의해 나타나는 맥동토크보다 상전류 확립 및 소호시에 전류중첩에 의해 발생하는 맥동토크가 전체 맥동토크의 주된 원인이 됨을 알 수 있다.

4. 결론

SRM은 인덕턴스의 비선형성과 펄스전류에 의해 본질적으로 토크의 맥동성분이 커서 실제 전동기 응용영역에 많은 제약을 주고 있다. 본 연구는 제어방식 개선을 통한 효율적인 구동방식에 관한 논문이다. 相間 轉流시의 토크중첩을 고려한 일정 토크 발생에 관한 제어방안으로서, 각 전류의 크기에 대해 실측한 인덕턴스 프로파일로부터 기준 전류파형을 도출하였으며, 기준 전류파형을 추종하도록 DSP를 이용한 실험장치를 구성하고 실험적으로 이를 입증하였다.

그 결과, 전동기의 회전속도가 빠를수록 그리고 부하토크가 커질수록 전류제어기의 밴드폭에 의해 나타나는 맥동토크보다 상전류 확립 및 소호시에 전류중첩에 의해 발생하는 맥동토크가 전체 맥동토크의 주된 원인이 됨을 실험적으로 증명하였다.

본 연구의 향후 과제는 회전자의 위치를 검출하기 위해 부착하는 고가의 엔코더를 제거하여 센서리스 구동을 실현함으로써 실용성있는 구동시스템을 구현하는 것이다.

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szeszsy and W. H. Bocknell : "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor." IEEE Trans. on Industrial Application, vol. 22, no. 4, pp. 708-715, 1986.
- [2] I. Husain, M. Ehsani : "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Drives by PWM Current Control," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 11, no. 1, pp. 91-98, 1996.
- [3] C. Wu, C. Pollock: "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on Industrial Applications, vol. 31, no. 1, pp. 83-88, 1995.

- [4] D. E. Cameron, J. H. Lang and S. D. Umans :
"The Origin and Reduction of Acoustic Noise in
Doubly Salient Variable-Reluctance Motors,"
IEEE Trans. on Industrial Applications, vol. 28,
no. 6, pp. 1250-1255, 1992.
- [5] Graham E. Dawson, Anthony R. Eastham and
Jerzy Mizia: "Switched Reluctance Motor Torque
Characteristics : Finite Element Analysis and
Test Results," IEEE Trans. on IA, Vol. 23, No. 3,
pp. 532-537, 1987.
- [6] M. Moallerm: "Predicting Torque of Switched
Reluctance Machine from Its Finite-Element Field
Solution," IEEE Trans on Energy Conversion, vol.
5, no. 2, pp. 733-739, 1990.

〈 저 자 소 개 〉



오인석(吳仁錫)

1959년 8월 19일생. 1983년 2월 부산대학교
전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과
졸업(석사). 1998년 8월 충남대 대학원 전기공
학과 졸업(박사). 현재 한국원자력연구소 MMIS
팀 선임연구원.



구인수(具仁守)

1953년 5월 6일생. 1977년 2월 경북대학교 전
자공학과 졸업. 1996년 2월 청주대학교 대학원
졸업(석사). 1988년 8월 전자기술사 획득. 현재
한국원자력연구소 책임연구원.



박한웅(朴漢雄)

1959년 8월 4일생. 1983년 2월 부산대학교 전
기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸
업(석사). 1997년 8월 동대학원 전기공학과 졸
업(박사). 현재 해군사관학교 전기공학과 조교수.



성세진(成世鎭)

1948년 7월 15일생. 1973년 서울대공대 공업
교육과 졸업. 1975년 동대학원 졸업(석사).
1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(공학박). 현
재 충남대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.