

# 토크 공유 함수법을 이용한 새로운 방식의 스위치드 리럭턴스 모터의 토크 제어

## A new torque sharing function method for torque control of a switched reluctance motor

최창환\*, 이대옥\*\*, 박기환\*\*\*

\* 광주과학기술원 기전공학과(Tel : 81-062-970-2408; Fax : 81-062-970-2384 ; E-mail: cch@kjist.ac.kr)

\*\* 국방과학연구소 (Tel : 81-042-821-3161; Fax : 81-042-821-2221 ; E-mail: daeoklee@sunam.kreonet.re.kr)

\*\*\* 광주과학기술원 기전공학과(Tel : 81-062-970-2391; Fax : 81-062-970-2384 ; E-mail: khpark@kjist.ac.kr)

**Abstract** : This paper presents a new torque sharing function method that extends the definition region of the conventional TSF to both the positive and negative torque production regions. By using this definition, all kinds of the control inputs that consider switching on/off angle control as well as the current profiling can be described. A parametrized representation of the current profiles is proposed by using a series of B-spline functions, which reduces memory requirement and enables additional controllers. Optimal determination of the TSFs are also investigated for various control objectives. Moreover, the comparison study of each objective is presented. Since this method generalizes all of the possible control input, the current and torque profiles obtained from the optimization are the most suitable control input that satisfy the objectives.

**Keywords** : switched reluctance motor, torque sharing function, optimization

### 1. 서론

스위치드 리럭턴스 모터(SRM)는 간단한 구조와 높은 토크/질량비의 특성을 가지고 있는 모터로서 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 특성에도 불구하고 토크 리플과 소음, 진동이 심하다는 특징으로 인해 응용범위에는 제한이 있다.

SRM의 응용 범위는 크게 가변 속도 응용과 위치 제어 응용으로 나눌 수가 있다. 가변 속도 제어 응용의 경우 전기 자동차용 구동 모터나 산업용 모터를 예로 들 수 있으며 비교적 넓은 속도-토크 특성을 얻기 위한 것이 주된 관심사이다. 이와 같은 속도 제어용 SRM의 경우는 제어 시에 전류의 상승 하강 시간이 토크 특성에 영향을 미치게 되어 최적의 토크 특성을 얻기 위해서는 적절한 스위칭 온/오프 각도를 결정하는 것이 중요한 제어 변수가 된다.

최근에는 SRM이 저속 고토크 모터인 직접 구동 방식의 모터로의 적용이 연구되고 있다. 이러한 위치 제어 응용의 경우 SRM이 가진 토크의 비선형성을 줄이기 위한 것이 주된 관심사이며 이 응용의 경우는 비교적 저속 회전을 하는 모터를 대상으로 하기 때문에 스위칭각 제어보다는 SRM의 비선형성을 보상하기 위한 적절한 크기의 상전류 파형을 결정하는 방법이 중요시되고 있다. 피드백 선형화 제어[1]와 슬라이딩 모드 제어[2] 같은 비선형 제어, 적응 제어기[3], 퍼지 제어기[4]도 적용되고 있다. 그러나 이러한 제어기의 경우 파라미터 변화에의 강인함과 높은 안정성을 가지고 있는데 반해서 계산량이 많다는 단점으로 인해 실제 적용에는 여러 가지 어려움이 있다. 그러므로 각 상의 토크 생성 값을 정의한 토크 공유 함수(torque sharing function : TSF)를 이용한 방법이 제안되었다[3][5].

TSF 방식의 경우 계산량이 적다는 장점뿐만 아니라 일정한 토크의 생성을 보장할 수 있으며 이외의 부가적인 제어 목적도 달성할 수 있다는 장점이 있다. 기존의 TSF 방식의 경우 위치 제어 응용을 위한 목적으로 제안되었기 때문에 양의 토크를 생성하는 구간에서만 TSF를 정의하였다. 그러나 이 경우 속도가 높아질수록 전류 제어의 시간 지연으로 인해 비정렬 부근(unaligned position)

에서의 양의 토크의 크기는 줄어들고 정렬 부근(aligned position)에서의 부토크의 크기는 점점 커지게 되어 토크 리플이 높아지고 속도-토크 특성이 나빠지는 단점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완한 새로운 방식의 TSF를 이용한 토크 제어 방법을 제안한다. 전류의 시간 지연을 보상해 주기 위해서는 충분한 전류 상승 시간을 확보하는 것이 유리하기 때문에 TSF의 정의 구간을 양의 토크 구간과 부토크 구간까지 확장하여 정의하였고 B-spline 함수를 이용하여 전류 파형을 파라미터화시켰다. 파라미터화할 경우 기존의 Lookup 테이블 방식에 비해 메모리의 저장 용량을 줄일 수 있고 적응 제어기와 같은 부가적인 제어기를 도입하기가 쉽다는 장점을 가지게 된다. TSF를 결정하는데 있어서 저속의 경우 전류의 최대값이나 전력 소비를 줄이는 것이 유리하고 고속의 경우는 기존 전류의 변화량과 요구 전압이 적은 것이 제어에 유리하다. 이러한 목적 함수를 기준으로 하여 최적의 TSF를 결정하는 방법과 각 회전 속도별로 유리한 TSF를 결정하여 일정 토크 제어를 수행하는 방법을 제안한다. 제안된 방식은 저속과 고속에서의 토크 특성을 모두 고려한 제어 방식으로 넓은 응용 범위를 가진 제어기로의 적용이 가능하다.

### 2. 모델링과 매개변수화

SRM의 동역학식은

$$-\frac{\partial \lambda(\theta, i)}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda(\theta, i)}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} + Ri = V \quad (1)$$

$$\omega = \dot{\theta} \quad (2)$$

$$J\dot{\omega} = \sum_{k=1}^L T_k(\theta, i) - T_L(\theta) \quad (3)$$

이다. 여기서,  $\theta, \omega, i, R, V, J$  그리고  $L$ 은 각각 회전자의 위치, 회전자의 각속도, 전류, 권선저항, 상전압, 관성모멘트와 상의 수를 나타낸다.  $\lambda(\theta, i), T_k(\theta, i)$  그리고  $T_L(\theta, i)$ 는 각각 자속, 상들에 의해 발생하는 토크, 그리고 부하토크를 나타낸다. SRM의 자속은 다음과 같이 표현할 수 있다[1].

$$\lambda_k(\theta, i) = \psi_s(1 - e^{-i/\psi(\theta)}) \quad (4)$$

\* 이 연구는 국방과학연구소(ADD)의 지원을 받아 수행하였다. (ADD-98-2-1)