

퍼지제어기를 이용한 스위치드 릴럭턴스 모터의 토크 맥동 저감 기법

노학승*, 정해광*, 이교범*
*아주대학교

Torque Ripple Minimization of a Switched Reluctance Motor Using Fuzzy Controller

Hak Sueng Ro, Hae Gwang Jeong, and Kyo Beum Lee
Ajou university

초록

본 논문은 퍼지 기반의 토크 분배 함수를 이용한 스위치드 릴럭턴스 모터의 토크 맥동 저감 기법을 제안한다. 일반적으로 스위치드 릴럭턴스 모터의 토크 맥동 저감 기법은 선행된 실험 결과와 모터 파라미터의 변화에 대한 관측을 통해 오프라인으로 토크 분배 함수를 최적화한다. 이때, 모터의 높은 인덕턴스는 전류가 토크 분배 함수를 잘 추종하지 못하게 하여 의도치 않은 토크 맥동을 유발한다. 게다가 오프라인으로 토크 분배 함수를 계산하기 때문에 모델의 오차 및 변화에 따라 보상 성능이 저하 될 수 있다. 제안하는 제어기법은 퍼지 제어기를 이용하여 순시적으로 토크 분배 함수의 형상을 정정함으로써 토크 맥동을 저감한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 제어기법의 우수성을 보인다.

1. 서론

스위치드 릴럭턴스 모터는 영구자석 모터의 대안으로 많은 관심을 받고 있다. 특히 스위치드 릴럭턴스 모터는 이중 돌극형 구조로써 단순한 구조와 낮은 단가, 넓은 속도 범위에 걸쳐 높은 출력을 갖는 장점을 갖고 있다. 그러나 출력 토크의 맥동이 매우 커서 진동과 소음이 매우 크다는 단점이 있다^[1]. 토크 맥동을 줄이기 위한 일반적인 방법은 토크 분배 함수를 이용하는 것이다. 토크지령은 토크 분배 함수를 통해 각 상의 토크 지령으로 분배된다. 분배된 토크지령은 자속과 전류, 토크로 구성된 룩업 테이블을 통해 전류 지령으로 변환된다. 그러나 토크 분배 함수는 모델의 오차 및 변화에 따라 성능이 저하 될 수 있다.

본 논문은 퍼지 기반의 토크 분배 함수를 이용한 스위치드 릴럭턴스 모터의 토크 맥동 저감 기법을 제안한다. 제안하는 제어기법은 퍼지 제어기를 이용하여 순시적으로 토크 분배 함수의 형상을 정정함으로써 토크 맥동을 감소시킨다. 1.5kW급 스위치드 릴럭턴스 모터의 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 제어기법의 강인성과 우수성을 보인다.

2. 토크 분배 기법

스위치드 릴럭턴스 모터의 토크 맥동은 일반적으로 현재 상이 다음 상으로 전환될 때 발생한다. 토크 분배 기법은 상전환 구간에서 토크 지령을 각 상으로 적절히 분배함으로써 토크 맥

동을 저감한다.

3상으로 구성된 6/4 스위치드 릴럭턴스 모터의 경우 각상의 인덕턴스 구간은 그림 1의 (a)같이 나타난다. 이때 토크 분배 함수의 적용을 위해선 그림에 표시된 구간과 같이 각 상의 인덕턴스가 중첩되는 구간에서 토크 분배가 이루어져야만 한다.

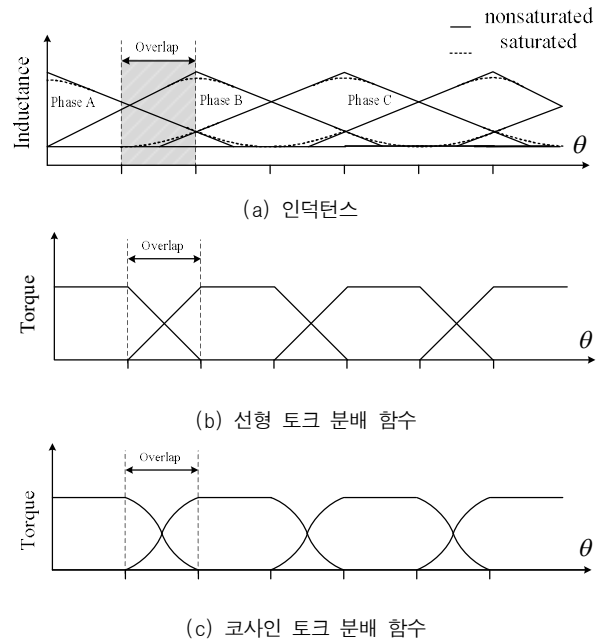


그림 1 토크 분배 함수와 인덕턴스 곡선
Fig. 1 Conventional TSF and Inductance Curve

그림 1의 (b)는 상 전환 구간에서 적용된 토크 분배 함수이다. 적용된 선형 토크 분배 함수의 경우 중첩 구간에서 각 상의 지령 토크를 선형적으로 생성한다. 이 방법은 적용이 매우 간단하나 SRM의 비선형적인 특성을 고려하지 않았다는 단점이 있다. 그림1의 (c)는 코사인 토크 분배 함수로써 선형 토크 분배 함수에 비해 오차는 비교적 적다.

3. 퍼지제어기를 이용한 토크 분배 함수 정정

토크 분배 함수를 이용한 제어는 사전에 오프라인으로 토크 분배 함수를 계산한다. 따라서 모델의 오차 및 변화는 제어기의 성능을 저하시킨다. 또한 모터의 인덕턴스로 인해 상전류가

전류 지령을 추종하지 못하게 되면 의도치 않는 토크 맥동을 유발할 수 있다. 이때 발생된 토크 맥동에 준하여 이를 보상하는 토크 분배 함수를 만들면 순시적인 토크 제어가 가능하다. 그림 2는 제안하는 퍼지 제어기가 적용되어 토크 분배 함수를 정정하는 블록도이다.

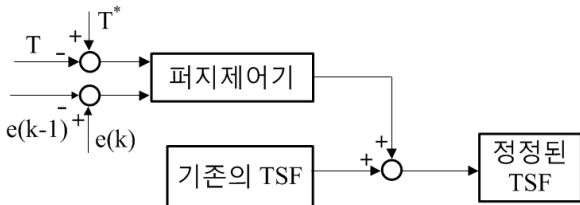


그림 2 본 논문에서 고려된 퍼지 제어기
Fig. 2 Considered fuzzy controller

퍼지 제어기의 입출력관계는 삼각형 모양의 퍼지 소속 함수 7개로 정의된다. 퍼지 제어기의 입력은 토크 지령과 실제 토크의 오차(e)와 오차에 대한 변화율(ce)로 하며, 디퍼지화 방법은 수계노 제로 오더 방법을 사용한다^[2]. 퍼지 제어기의 규칙은 표 1과 같다.

표 1 퍼지 제어기의 규칙
Table 1 Control rule of fuzzy controller

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z
NM	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS
NS	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
Z	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM
PS	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM
PM	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB
PB	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB

4. 시뮬레이션

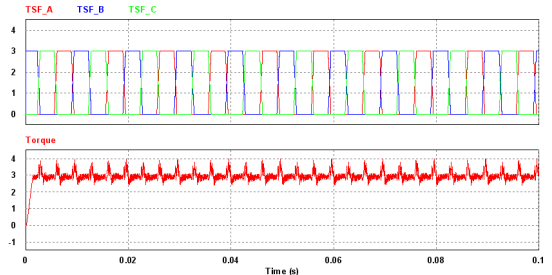
제안한 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 표2는 시뮬레이션에 사용된 스위치드 릴럭턴스 모터의 변수들을 나타낸다.

표 2 대상 전동기의 제원
Table 2 Specification of target motor

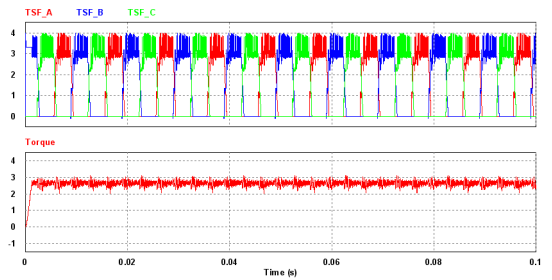
변수	값	변수	값
고정자 극	6	최대인덕턴스	88m
회전자 극	4	최소인덕턴스	10m
고정자극호각	40°	고정자 저항	2.5Ω
회전자극호각	40°		

그림 3은 기존의 토크 분배 함수와 정정된 토크 분배 함수를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 그림 3의 (a)는 기존의 토크 분배 함수와 출력되는 토크를 나타낸다. 토크 분배 함수는 지

령 토크를 추종하기 위해 상전환 구간을 고려하여 선형적으로 구성된다. 하지만 모터자체의 인덕턴스 특성으로 인해 토크 분배 함수를 추종하지 못한 전류는 토크 맥동을 발생시킨다. 그림 3의 (b)는 제안하는 제어 기법을 적용한 결과이다. 지령 토크와 출력 토크 간의 오차를 확인하고 퍼지제어기를 이용하여 토크 분배 함수를 정정한다. 정정된 토크 분배 함수를 이용하여 토크의 맥동은 60% 개선된다.



(a) 선형 토크 분배 함수의 토크 특성



(b) 제안하는 제어 기법의 토크 특성

그림 3 토크 특성 비교

Fig. 3 Comparison of Torque Performance with each Method

5. 결론

본 논문에서는 스위치드 릴럭턴스 모터의 상전환 구간에서 발생하는 토크 맥동을 줄이기 위해 퍼지 제어기를 이용하여 토크 분배 곡선을 정정하는 방법을 제안한다. 제안된 제어 기법은 순시적인 토크 분배 함수의 정정으로 인해 모터의 오차 및 변화에 강인하다. 1.5kW급 스위치드 릴럭턴스 모터 기반의 PSIM 시뮬레이션을 통하여 제안하는 제어기법의 성능을 검증하였다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. 20120002247).

참고 문헌

- [1] 김태형, 안진우, "SRM의 상전환 구간 토크리플 저감을 위한 제어기법에 관한 연구," *전력전자학회 논문지*, 제59권, 제2호, pp. 333-337, 2010. 2.
- [2] 이현희, 최의민, 이교범, "퍼지제어기를 이용한 계통연계형 3 레벨 NPC 인버터의 중성점 제어," *전력전자학회 학술대회*, pp. 209-210, 2011. 11.