

4-레벨 컨버터를 이용한 SRM의 순시 토크 제어 기법

李東熙^{*}, 李相勳^{**}, 安珍雨[†]

Direct Instantaneous Torque Control of SRM using 4-level Converter

Dong-Hee Lee, Sang-Hun Lee and Jin-Woo Ahn

요 약

본 논문에서는 토크 맥동을 줄이고 동특성 및 효율을 개선하기 위해 새로운 4-레벨 컨버터 이용한 DITC SRM 구동방식을 제안하였다. 4-레벨 컨버터는 콘덴서의 전압을 이용하여 여자 및 감자 시 높은 전압을 인가하여 여자특성을 개선할 수 있는 장점을 가진다. 본 논문에서는 DITC의 동특성 개선을 위해 사용된 4-레벨 컨버터의 동작특성과 부스트 전압에 따른 효율 개선에 대해 해석하였다. 이를 통해 제안된 SRM을 위한 4-레벨 컨버터의 DITC 제어 기법을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents a direct instantaneous torque control (DITC) of Switched Reluctance Motor (SRM) with a novel 4-level converter to develop a uniform torque and to improve a dynamic performance. The DITC method can reduce a high torque ripple of SRM. Drive efficiency and dynamic performance with conventional drive are low due to a slow excitation current build-up. Since the 4-level converter can obtain an addition boosted voltage to have a fast excitation and demagnetization, it can improve dynamic performance and efficiency easily. To apply the DITC technique to a 4-level converter, a novel control scheme is presented according to the operating modes. Additionally, selection of capacitances of boosted capacitor and efficiency improvement of 4-level converter are analyzed. At last, the validity of proposed method is verified by some computer simulations and comparative experiments.

Key Words : DITC, 4-level converter, uniform torque, dynamic performance

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor)는 고효율, 고속운전, 간단한 전자기적 구조, 용이한 가 변속제어 등의 장점을 가지고 있어 중심으로 가전기기, 전기자동차, 항공기 및 산업전반에 걸쳐 그 응용영역을 확대해가고 있다^[1-2]. 그러나 SRM은 이중

돌극 구조와 각 상의 독립된 토크 발생으로 인해 다른 기기에 비해 토크 리플 큰 단점을 가진다. 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 제어기 기술들이 제안되었다^[2-4]. DITC(Direct Instantaneous Torque Control)는 고정자 자속과 토크를 제어함에 있어서 매 샘플링 주기마다 실제 값과 지령치를 비교하여 생긴 오차를 히스테리시스 밴드폭과 비교하여 매 연산주기마다 가장 제어오차를 최소화하는 적절한 인버터 전압을 선정하여 출력하는 방식으로 출력전압의 결정에 토크가 직접적으로 제어되는 제어방식이다. 이는 다른 이전의 제어방식에 비해 전 영역에서 토크 리플이 작으며 동특성이 우수하다^[6-7]. 그러나 DITC는 응답특성이 좋지 않으며 또한 평활전류를 생성하기 위해

[†]교신저자 : 정희원, 경성대 전기전자메카트로닉스공학부 교수
E-mail : jwahn@ks.ac.kr
^{*}정희원, 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부 전임강사
^{**}정희원, 경성대 공학기술연구소 연구원
접수일자 : 2007. 3. 21 1차 심사 : 2007. 4. 17
심사완료 : 2007. 5. 4

선행각의 폭을 넓혀야한다. 따라서 SRM 드라이브의 동특성을 개선하기 위해서는 빠른 여자 및 감자 전류 제어가 필수적이다.

본 논문에서는 토오크 리플을 줄이고 동특성 및 효율을 개선하기 위해 새로운 4-레벨 컨버터 이용한 DITC SRM 구동방식을 제안하였다. 4-레벨 컨버터는 콘덴서의 전압을 이용하여 여자 및 감자 시 높은 전압을 인가하여 여자특성을 개선할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 DITC 제어를 4-레벨 컨버터에 적용할 경우 기존의 DITC 제어에 비해 동특성을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 DITC의 동특성 개선을 위해 사용된 4-레벨 컨버터의 동작특성과 부스트 전압에 따른 효율 개선에 대해 해석하였다. 이를 통해 제안된 SRM을 위한 4-레벨 컨버터의 DITC 제어 기법을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

2. 기존의 비대칭형 컨버터를 사용한 DITC 제어

그림 1은 기존의 SRM 구동을 위해 일반적으로 사용되고 있는 비대칭형 컨버터와 컨버터의 동작을 나타낸다. 비대칭형 컨버터의 특징은 각 상이 독립적으로 제어가 가능하며 이는 중첩 구간에서 DITC 동작에 중요한 부분이 된다. 비대칭 컨버터는 여자, 환류, 감자의 3가지 동작모드를 가진다. 이러한 모드를 본 논문에서는 1, 0, -1의 상태로 정의한다. 그림 1(b)는 비대칭 컨버터의 여자모드인 상태1을 나타낸다.

기존의 전류제어 방식의 경우 전류구간에서 큰 토오크 리플이 발생한다. 토오크 리플을 없애기 위해 평활 토오크를 위한 지령을 입력하여야 한다. 본 논문에서는 각 상의 인덕턴스를 SRM의 기학적 구조에 의해 그림 2와 같이 영역 1, 영역 2, 영역 3인 3개의 영역으로 나눈다. 3개의 영역 중 θ_{onB} 와 θ_{onC} 는 부하와 동작속도에 따라 변하는 B상과 C상의 선행각 영역이며, θ_{1B} 는 B상 인덕턴스가 시작하는 영역이다. 또한 θ_{2B} 는 A상의 인덕턴스가 최대가 되는 지점을 나타낸다.

영역 1에서는 A상에 의해 출력 토오크를 발생하며, B상의 경우 토오크 발생구간에서 충분히 출력 토오크를 발생시킬 수 있도록 낮은 인덕턴스 영역에서 여자 전류를 확립할 수 있도록 제어한다. 영역 2는 전류구간이 포함되어 있어 토오크 리플을 줄이고 평활 토오크를 발생시키기 위해 제어되어야 할 중요한 구간이 된다. 그림 2에서 영역 2는 B상의 전류가 확립되어 실제 순시 토오크가 발생하는 구간이며 동시에 A상의 정 토오크 발생구간에서 벗어나는 구간이기 때문에 A

상의 토오크는 감소하게 된다.

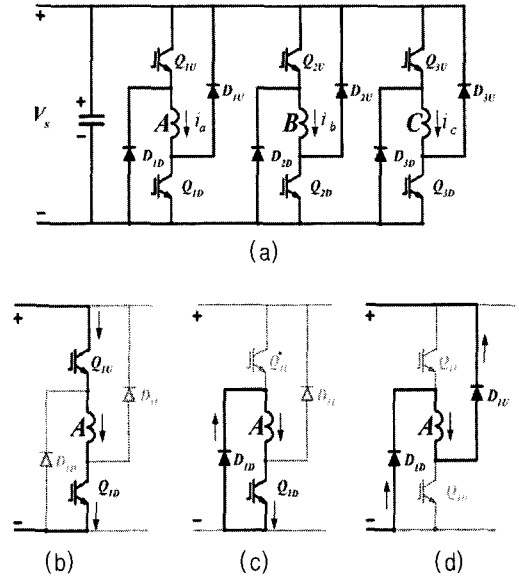


그림 1 비대칭 컨버터의 구조 및 동작모드

- (a) 비대칭 컨버터 (b) 상태 1
- (c) 상태 0 (d) 상태 -1

Fig. 1 Phase switching states of asymmetric converter (a) asymmetric converter (b) state 1 (c) state 0 (d) state -1

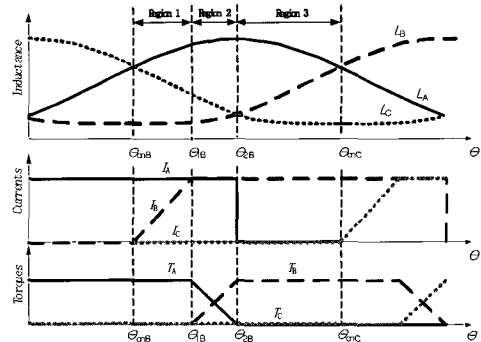


그림 2 DITC를 위한 각 상의 기본 여자 구간

Fig. 2 Regions for DITC method

즉 토오크를 발생하는 구간이 A상에서 B상으로 바뀌는 구간이 된다. 이때 지령 토오크에 대해 B상의 발생 토오크가 낮을 경우 A상의 토오크가 지령 토오크와 발생 토오크의 차를 보상해 주어야 한다. 영역 3은 A상의 경우 부 토오크 발생 구간으로 A상의 여자전류가 완전히 제거 되어야 한다. B상의 경우 정 토오크 발생 구간에 해당 되므로 전류제어를 통해 평활 토오크

크를 발생하게 된다.

3. 제안된 4-레벨 컨버터를 사용한 DITC 제어

3.1 비대칭형 컨버터의 DITC 적용

평활 토크를 얻기 위해 DITC에서는 히스테리시스 루프를 사용한다. 그림 3은 비대칭 컨버터의 DITC 스위칭 방법을 나타낸다. 그림에서 왼쪽 좌표는 A상과 B상의 제어 상태를 나타내고 오른쪽 그림의 점선과 실선으로 표현된 부분은 히스테리시스 루프의 제어법을 나타낸다. 비대칭 컨버터의 DITC 적용에 있어 그림 2의 영역 1과 영역 2는 그림 3(a)와 같이 제어하게 된다.

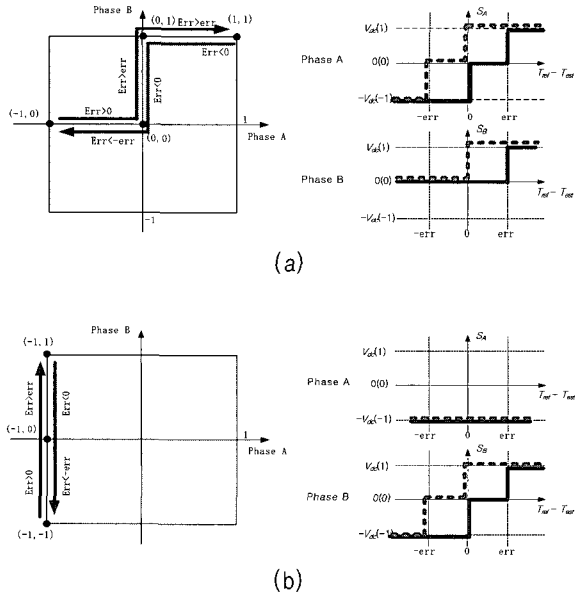


그림 3 비대칭 컨버터의 DITC 동작

- (a) 영역 1과 영역 2의 제어방법
- (b) 영역 3의 제어방법

Fig. 3 DITC Scheme of asymmetric converter

- (a) control scheme of region 1 and region 2
- (b) control scheme of region 3

그림 3(a)에서는 그림 1에서 정의한 상태에 따라 A상과 B상의 상태가 각각 (1, 1), (0, 0) 그리고 (0, 1)인 상태가 존재하게 된다. 토크 제어의 동특성을 개선하기 위해 (-1, 0)을 추가하여 제어가 가능하다. 영역 3에 대한 제어 동작은 그림 3(b)에 나타 내었다. 상 A는 감자 구간으로 상 A에 축적된 에너지를 DC-Link 단으로 회수해야 함으로 영역 3에서는 -1의 상태를 유

지하게 된다. 상 B의 경우 0과 1 사이를 유지하게 되며 토크의 동특성 개선을 위해 (-1,-1)의 상태를 추가하여 제어하게 된다.

3.2 4-레벨 컨버터를 이용한 DITC

그림 4는 3상 SRM을 제어하기 위한 4-레벨 컨버터를 나타낸다. 4-레벨 컨버터는 기존의 비대칭형 컨버터에 비해 부스트 콘덴서 C_{CD} , 전력 회수용 스위치와 다이오드 Q_{CD} , D_{CD} 가 추가되게 된다. 전력 회수용 콘덴서인 C_{CD} 는 감자 구간에서 DC-Link단과 직렬로 연결되어 상 권선에 축적되어 있는 에너지를 높은 전압으로 신속하게 소호하여 소호전류가 각 상의 부토크 발생 영역 보다 앞서 소호 되도록 제어하게 된다. 이때 회수된 에너지는 전력 회수용 스위치 Q_{CD} 와 다이오드 D_{CD} 를 이용하여 다음 상의 신속한 여자전류 확립을 위해 사용하게 된다.

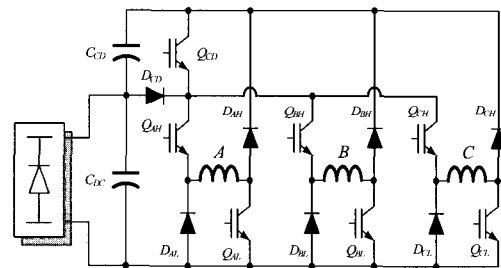


그림 4 제안된 4-레벨 컨버터
Fig. 4 Proposed 4-level converter

그림 5는 제안된 4-레벨 컨버터의 동작 모드를 나타낸다. 그림 5(a)는 상태 2로 정의하며, DC-Link 전압인 V_{DC} 와 전력 회수용 콘덴서의 전압인 V_{CD} 를 이용하여 각 상에 전압을 공급한다. 이 때 각 상의 여자전류는 V_{DC} 와 V_{CD} 를 이용하여 공급된 전압에 의해 빠르게 확립되게 된다. 그림 5(b)와 5(c)는 기존의 비대칭 컨버터의 동작 모드인 상태 1, 상태 0과 동일하게 동작하게 된다. 그림 5(d)는 상태 -2로 정의하며 감자 구간에서 상 권선에 축적된 에너지를 DC-Link단과 전력 회수용 콘덴서를 이용하여 회수하게 된다. 이 때 각 상의 여자전류는 기존의 DC-Link단을 통해 회수되는 방식에 비해 DC-Link단과 전력 회수용 콘덴서를 사용함으로써 높은 전압($-V_{DC} - V_{CD}$)으로 빠르게 소호되게 된다. 그림 5(d)는 그림 5(a)와 유사하게 동작한다. 기존의 비대칭 컨버터에 대한 DITC의 경우 비대칭 컨버터의 동작 상태를 상태 1, 상태 0, 상태 -1의 3상

대로 정의하였다. 앞서 살펴본 4-레벨 컨버터의 경우 비대칭 컨버터와는 다르게 동작 상태를 상태 2, 상태 1, 상태 -1, 상태 -1의 4상태로 정의한다. 따라서 4-레벨 컨버터를 위한 DITC의 경우 변화된 컨버터 상태에 따라 스위칭 방식을 다시 정의하여야 한다. 그림 2의 DITC 제어를 위한 기본 영역 중 영역 1에서는 빠른 여자 전류 확립을 위해 상태 2를 사용한다. 그림 5(a)와 같이 DC-Link단 전압과 콘덴서 전압을 이용하여 상 B에 빠른 여자전류를 확립하게 된다. 영역 1에서는 상 A가 주 여자권선이며 상 A에서 발생하는 토크가 가장 크다. 영역 1에서의 각 상의 DITC 여자 제어 상태를 그림 6(a)에 나타내었다.

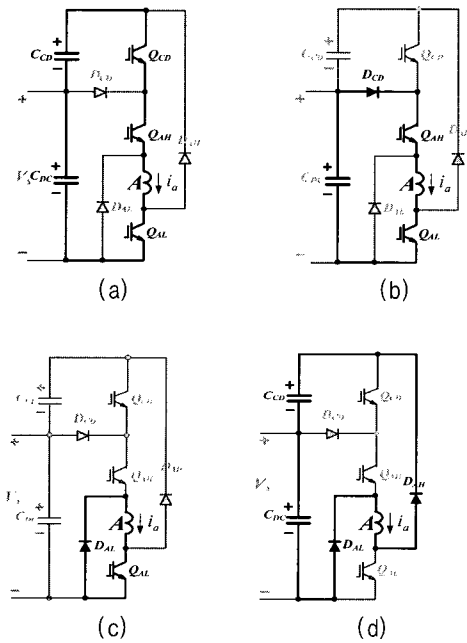


그림 5 4-레벨 SRM 컨버터의 동작 방법
 (a)상태 2 (b)상태 1 (c)상태 0 (d)상태 -2
 Fig. 5 Phase switching states of 4-level converter
 (a)state 2 (b)state 1 (c)state 0 (d)state -2

그림 6(a)에서는 그림 5에서 정의한 상태에 따라 A상과 B상의 동작상태가 각각 (0, 0), (1, 1) 및 (0, 2)인 상태가 존재하게 된다. 이 때 상태 (2, 2)와 (-2, 0)은 토크의 동특성 개선을 위해 추가하여 제어하게 된다. 영역 2에서는 기존의 비대칭형 컨버터의 DITC 제어와 유사하다. 기존의 비대칭형 컨버터에서 존재하던 (-1, 0)의 제어는 4-레벨 컨버터에서 (-2, 0)로 제어가 가능하며 이는 높은 전압을 이용하여 감자전류를

생성함으로써 토크 응답의 속응성을 개선 할 수 있다. 또한 지령 토크에 비해 실제 토크가 낮을 경우 기존의 비대칭 컨버터에서 사용하던 (1, 1)외에 오차가 클 경우 (2, 2)를 이용한 제어가 가능함으로써 별도의 제어 없이 여자 전압으로 동특성을 개선할 수 있다.

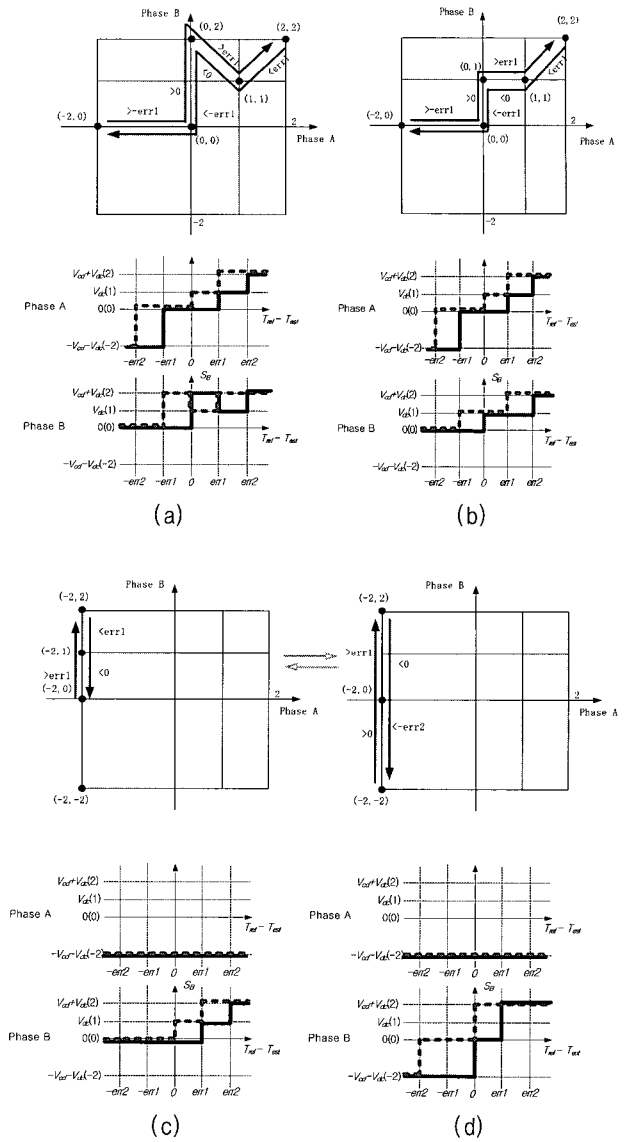


그림 6 4-레벨 컨버터의 DITC 동작
 (a) 영역 1의 동작방법 (b) 영역 2의 동작방법
 (c), (d) 영역 3의 동작방법
 Fig. 6 DITC scheme of 4-level converter
 (a) control scheme for region 1
 (b) control scheme for region 2
 (c) and (d) control scheme for region 3

영역 3에서 상 A는 부 토크 방지를 위해 권선에 축적된 에너지를 신속히 감자시켜야 한다. 이는 4-레벨 컨버터의 경우 그림 5(d)의 상태 -2를 사용함으로써 DC-Link단과 콘덴서 전압을 이용하여 소호전류를 신속하게 회수할 수 있다. 영역 3에서의 각 상의 DITC 여자 제어 상태를 그림 6(c), 그림 6(d)에 나타내었다. 그림 6(c)는 영역 3에서의 일반적인 여자 제어 상태를 나타내며 (-2, 0), (-2, 1) 와 (0, 0)의 상태를 필요로 하게 된다. 그림 6(d)는 부하변동에 따른 신속한 응답 특성을 위해 일반적인 여자 제어 상태에서 (-2, 2)을 추가 하였다.

3.3 DITC를 이용한 SRM 시스템

그림 7은 4-레벨 컨버터를 이용한 SRM DITC 제어 시스템을 나타낸다. 그림 7에서 전류에 대한 토크의 룩업 테이블과 히스테리시스 제어 블록은 DITC 제어 시스템에서 중요하다. 토크의 룩업 테이블의 경우 전류, 회전자 위치 대 토크 3차원 테이블로 구성된다. 히스테리시스 제어 블록은 DITC 구현을 위해 디지털 히스테리시스 제어기를 사용한다.

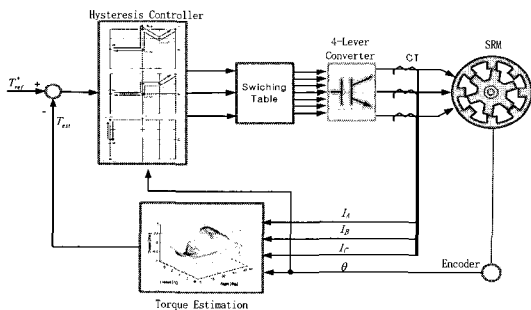


그림. 7 DITC SRM 구동 시스템의 제어도
Fig. 7 Control diagram of DITC SRM drive system

지령 토크와 토크 룩업 테이블에 의해 예측된 실제 토크의 오차에 대해 그림 6에서 정의한 4-레벨 컨버터를 이용한 DITC를 위한 여자제어 상태에 따라 상태 신호를 발생하고 발생된 신호는 스위치 테이블에 의해 각 상의 상 신호로 변환하여 4-레벨 컨버터를 구동하게 된다. 효과적인 여자전류 확립과 소호를 위해 4-레벨 컨버터는 부스트콘덴서를 사용하게 된다. 따라서 부스트 콘덴서의 용량은 4-레벨 컨버터의 구현에 있어 중요한 변수가 된다. 일반적으로 콘덴서의 용량을 크게 하면 전압 리플이 작아 DC-Link 전압을 안정시킬 수 있으나, 컨버터 단가를 증가 시킨다. 반대로

콘덴서의 용량을 작게 선정할 경우 DC-Link 전압이 안정되지 못하여 제어기의 성능에 영향을 미친다¹⁵⁻¹⁸⁾. 4-레벨 컨버터에서 부스트 콘덴서는 감자모드에서 감자에너지를 회수하여 다음 상의 빠른 여자 전류 확립을 가능하게 한다. 따라서 부스트콘덴서에 충전되는 전압은 감자 에너지에 의해 결정되며 감자 에너지는 부하에 의해 결정되게 된다. 4-레벨 컨버터의 부스트 콘덴서의 용량은 부하에 영향을 받는다.

그림 8은 인가전압과 콘덴서 용량에 따른 부스트 콘덴서의 전압리플을 나타낸다. 콘덴서용량이 작을 수록 부스트콘덴서의 전압 리플은 증가함을 알 수 있다.

그림 9는 부스트콘덴서에 따른 4-레벨 컨버터의 효율을 나타낸다. 기존의 비대칭형 컨버터와 비교하여 부하 및 속도가 증가할수록 기존의 비대칭형 컨버터에 비해 효율을 증가함을 알 수 있다. 또한 낮은 부스트 콘덴서 전압에 비해 부스트콘덴서 전압이 높을수록 4-레벨 컨버터의 효율은 증가함을 알 수 있다.

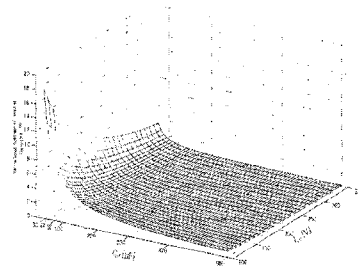


그림 8 콘덴서 선정 테이블 (Torque=0.7[N.m])
Fig. 8 Capacitor selection table (Torque=0.7[N.m])

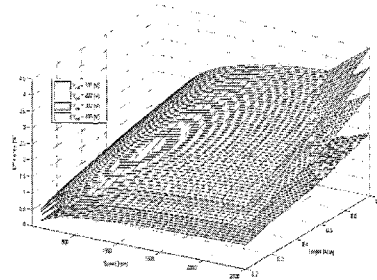


그림 9 부스트 콘덴서 용량에 따른 효율
Fig. 9 Efficiency according to boosted capacitance

4. 시뮬레이션 및 실험

제안된 4-레벨 SRM 컨버터의 DITC 제어를 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 사용하고자 하는 200W급 12/8 SRM의 인덕턴스와 토크 프로파일을 그림 10과 같이 구하였다.

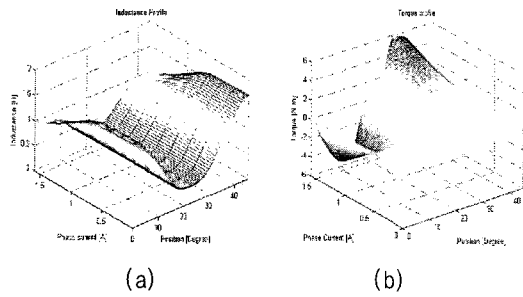


그림 10 인덕턴스 및 토오크 프로파일
 (a) 인덕턴스 (b) 토오크
 Fig. 10 Inductance and torque profile
 (a) inductance (b) torque

그림 11과 12는 MATLAB으로 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 11은 기존의 비대칭형 컨버터와 제안된 4-레벨 컨버터를 이용한 DITC 제어를 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 11에서 알 수 있듯이 같은 총합 토오크 리플 조건에서 기존의 비대칭 컨버터에 비해 제안된 4-레벨 컨버터가 짧은 선행각 구간에서 여자 전류가 잘 확립됨을 알 수 있다. 또한 동일한 Turn-off 각에서 소호전류의 경우 기존의 컨버터에 비해 제안된 4-레벨 컨버터의 경우 소호 시간이 짧게 나타난다. 이와 같은 결과는 부 토오크 방지를 위해 적절한 Turn-off 각을 제한하는 기존의 SRM 드라이브에 대해서 제안된 4-레벨 컨버터의 경우 기존의 비대칭형 컨버터에 비해 Turn-off 시간을 늘림으로서 전체 정 토오크 발생 구간을 넓게 사용할 수 있다.

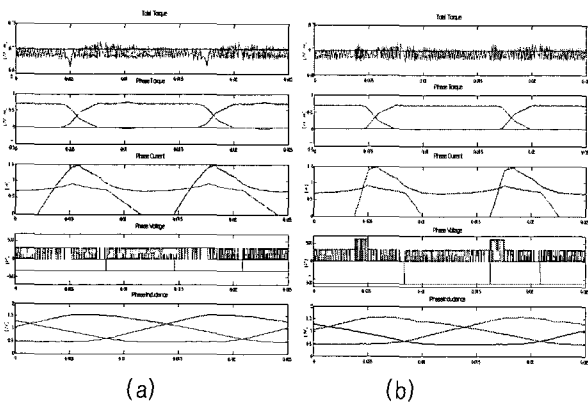


그림 11 컨버터에 따른 DITC 방법
 (a) 비대칭 컨버터 (b) 4-level 컨버터
 Fig. 11 DITC method according to converter
 (a) asymmetric converter (b) 4-level converter

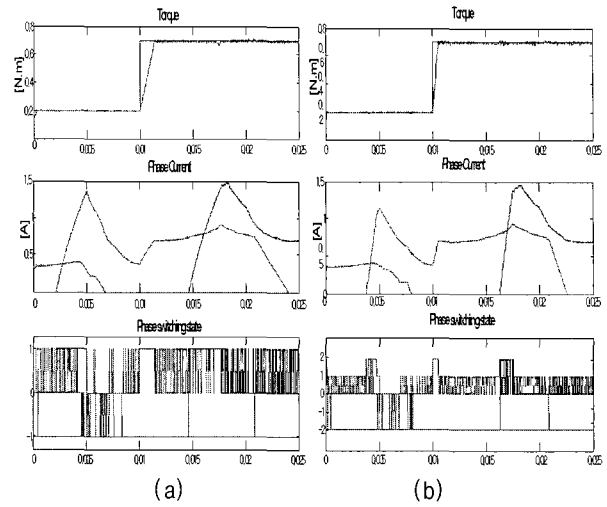
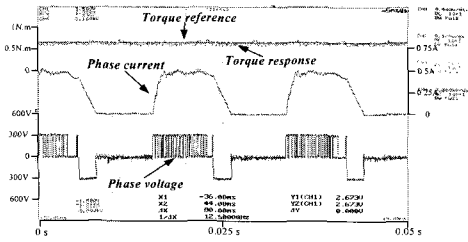


그림 12 컨버터에 따른 DITC 토오크 스텝 응답
 (a) 비대칭 컨버터 (b) 4-level 컨버터
 Fig. 12 Torque step responses of DITC according to converters (a) asymmetric converter (b) 4-level converter

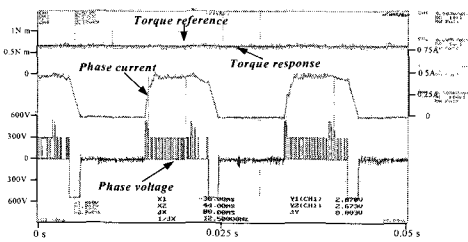
그림 12는 제안된 4-레벨 컨버터의 토오크 동특성을 기존의 비대칭형 컨버터와 비교하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 초기에 여자 전류 확립을 위해 사용하는 부스트 컨텐서의 컨텐서 전압으로 인해 기존의 비대칭형 컨버터에 비해 별도 응답특성 개선을 위한 제어기의 사용 없이 토오크 속 응답성이 개선되었음을 알 수 있다. 따라서 4-레벨 컨버터를 이용한 SRM DITC 제어가 기존의 비대칭형 컨버터를 이용한 DITC 제어에 비해 토오크 응답 특성과 토오크 리플을 개선할 수 있다.

그림 13은 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 실험 결과를 나타내고 있다. 실험은 400[rpm], 0.7[N.m]의 조건에서 실행되었다. 실험 결과는 시뮬레이션 결과와 동일하고 같은 총합 토오크에서 기존의 컨버터에 제안된 컨버터의 DITC 제어 방법이 불필요한 선행각 부분과 소호전류 구간을 감소시켜, 여자 및 감자 특성을 개선시키고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 토오크 응답을 특성을 나타내고 있다. 토오크 응답 특성을 알아보기 위해 토오크 지령을 0.2[N.m]에서 0.7[N.m]로 변화시켰을 때의 응답특성을 실험하였다. 그림 14에서 알 수 있듯이 기존의 컨버터에 비해 제안된 컨버터의 여자전류 특성을 개선하여 전체 토오크 응답특성을 개선하고 있다.



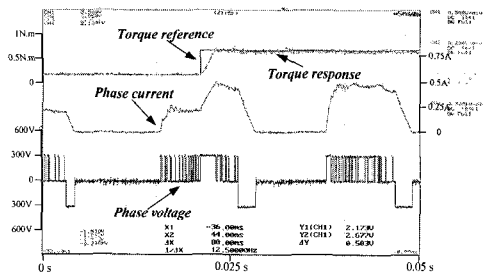
(a)



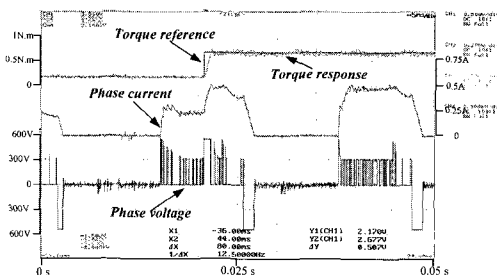
(b)

그림. 13 컨버터에 따른 실험 결과(0.7[N.m])
(a) 비대칭 컨버터 (b) 4-level 컨버터

Fig. 13 Experimental results(0.7[N.m])
(a) asymmetric converter (b) 4-level converter



(a)



(b)

그림 14 토크 스텝 응답(0.2 to 0.7[N.m])
(a) 비대칭 컨버터 (b) 4-level 컨버터

Fig. 14 Experimental results of torque step response
(0.2 to 0.7[N.m])
(a) asymmetric converter (b) 4-level converter

5. 결 론

본 논문에서는 향상된 4-레벨 컨버터를 이용한 DITC 제어 기법을 제안하였다. 기존의 토크 응답 특성을 개선한 DITC 제어기법을 상 권선에 축적된 에너지를 회수하여 다음 상에 여자 전원으로 활용하는 4-레벨 SRM 컨버터에 적용함으로써 토크 리플과 토크 응답 특성을 개선할 수 있었다. 이와 같은 응답 특성을 확인하기 위해 부스트 콘덴서 용량선정과 부스트 콘덴서에 따른 컨버터 효율 특성을 해석하였으며, 이를 통해 설계된 4-레벨 컨버터와 기존의 비대칭형 컨버터를 비교하여 두 컨버터의 토크에 대한 여자 및 감자 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 (과제번호 : R-2005-B-109) 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- [1] J.W Ahn, "Switched Reluctance Motor", Osung Media, pp.1-454,2004
- [2] I. Husain and M. Eshani, "Torque ripple minimization in switched reluctance motor drives by PWM current control," in Proc. IEEE PESC'94, vol. 1, 1994, pp. 72 - 77.
- [3] P. G. Barrass and B. C. Mecrow "Flux and torque control of switched reluctance machines" IEE Pro-Electr. Power Appl., Vol.145, No. 6 November 1998, pp. 519-529
- [4] R. B. Inderka and R. W. De Doncker, "High dynamic direct average torque control for switched reluctance drives," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, vol. 3, Chicago, IL, 2001, pp.2111 - 2115.
- [5] Sayeed Mir, "Energy efficient C-dump Converter for Switched Reluctance Motors", IEEE Transaction on Power Electronics vol.12, No.5 pp.912-921.1997.
- [6] Inderka, R.B., De Doncker, R.W., "DITC-direct instantaneous torque control of switched reluctance drives", IEEE Transactions on Industry Application, vol. 39, NO. 4, pp.1046 - 1051 July, 2003.
- [7] Inderka, R.B., De Doncker, R.W., "DITC-direct instantaneous torque control of switched reluctance drives", 37th IAS Annual Meeting. Conference Record

of the Volume 3, pp. 1605 - 1609, 2002. 10

- [8] J.W Ahn et al; " Five-Level Inverter for Optimal Excitaon of SRM Drive", Proceeding of IEEE/ISIE, vol 3, pp. 1401 - 1406, 2001. 06.

저 자 소 개



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기전자·메카트로닉스 공학부 전임강사. 당 학회 편집위원.



이상훈(李相勳)

1974년 8월 11일생. 2000년 경성대 전기공학과 졸업. 2002년 경성대 전기전자공학과 졸업(석사). 2002년~2004년 9월 KT 전기 기술연구소 주임연구원. 2006년 부산대 메카트로닉스협동과정 졸업(공학). 2006년 3월~2007년 2월 전남대 공학기술연구소 연구원. 현재 경성대 공학기술연구소 연구원.



안진우(安珍雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년 12월~1996년 2월 영국 글래스고우대 방문연구원. 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨신대 방문교수. 1992년~현재 경성대 전기전자·메카트로닉스공학부 교수. 2005년~현재 차세대전동기기술연구센터장. 당 학회 평의원.