

스위치드 릴럭턴스 모터 인버터의 동기 구동 방식

정윤철, 김상영, 임준영
 LG전자 디지털 어플라이언스 연구소

Synchronous Drive for Inverter of Switched Reluctance Motor

Yun-Chul Jung, Sang-Young Kim, Jun-Young Lim
 Digital Appliance Reserch Lab. LG Electronics Inc.

ABSTRACT

최근들어 에너지와 가격문제가 대두 되면서 고효율, 저가격의 모터가 절실히 요구 되고 있다. 이런 관점에서 SRM (Switched Reluctance Motor)는 유도전동기에 비해 기계적으로 견고하고 자기적으로 간단하며 기동 토크가 큰 장점이 있다. 가격측면에서 SRM은 BLDC모터에 비해 장점은 있지만 기존 유도기에 비하면 가격의 상승은 피할 수 없는 상황이다. 본 논문은 기존 유도기와 같은 수준의 가격을 제시할 수 있는 인버터, 드라이브 방식을 구현 하였고 효율은 유도기 대비 월등한 수준을 실현 하였다.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)는 견고한 구조와 회전자와 고정자 사이의 릴럭턴스 토크를 동력으로 하는 큰토크의 장점과 간단한 회로의 구성으로 저가격의 실현이 가능하다. 그러나 구조적 특성과 구동 방식으로 소음의 문제가 대두되고 있는 것이 실질적인 가장 큰 문제점이라고 할 수 있다. 본 논문은 인버터 구동 방식인 Synchronous Base Drive 방식으로 한상의 모터 권선에 PNP TR와 NPN TR을 직렬 연결 함으로써 추가의 절연 전원 없이 NPN의 TR에 신호를 공급함으로써 동시에 PNP TR이 신호를 공급 받는 방식으로 가격을 절감 함으로써 유도기와 같은 수준을 실현 하였다. 또한 SRM은 TR의 TURN OFF 시 소음이 많이 발생 하는데 이러한 소음을 줄일수 있는 드라이브 방식인 Dual-Decay 회로를 간단한 구현 방법으로 실현 하였고 TURN OFF 시에 소음을 저감 할 수 있는 전류 파형의 변형으로 구현하였고 이를 실험을 통하여 제안된 방식이 타당함을 확인 하였다.

2. 본 론

2.1 모터의 구조 및 구동 방식^[2]

그림1은 기본적인 3상 구조의 SRM을 나타내고 고정자와 회전자 모두 돌극형의 구조이며 고정자에만 권선되어 있는 구조를 갖는다.

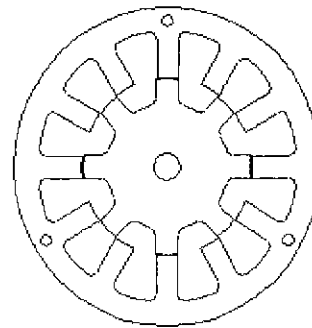


그림1. 3상 SRM의 구조 (12/8 구조)

고정자 권선에 전류를 인가 할때 자기적구조에 의존하여 발생하는 토오크로서 지기회로의 릴럭턴스와 여자에너지의 변화로 유도되며 여자에너지를 인가한 상의 릴럭턴스가 최소화 되려는 방향으로 회전력을 발생하는 모터이며 그의 구동회로는 그림 2와 같은 Asymmetric bridge converter 구조이며 제어의 다양성이 가장 뛰어나며 각상의 전류제어가 독립적이어서 두상의 전류중첩이 가능한 특징이 있다. 그리고 소자의 정격전압이 상대적으로 낮고 Demagnetizing 성능이 우수하나 스위치가 두 개이고 위쪽 스위치의 드라이브가 각각 절연 되어야 하는 단점이 있다. 이로 인한 Cost 또한 상승하는 요인 되고 있는데 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 전원의 절연없이 아래쪽 스위치와 위쪽 스위치를 동시에 TURN-ON 또는 OFF 할수 있는 구조를 제안한다.

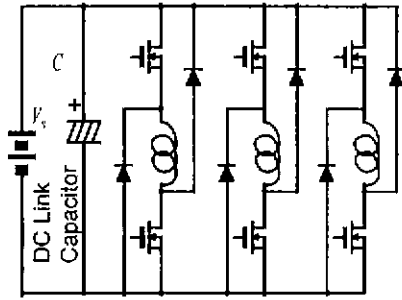


그림2 . SRM의 구동회로 (Asymmetric bridge)

2.2 제안된 구동회로 및 구동방식

제안된 구동회로는 그림3와 같고 위쪽스위치에 별도의 절연전원과 구동신호의 절연을 위한 추가의 장치가 필요하지 않으므로 Cost를 절감할 수 있으므로 기존의 유도기와 가격 경쟁력을 가질 수 있다.

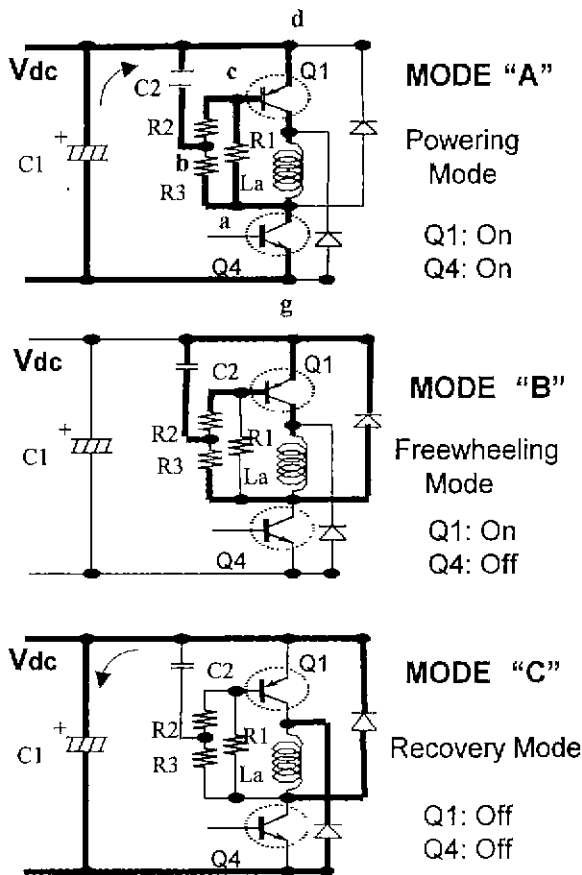


그림3. 제안된 회로의 모드별 해석

기본적으로 이 구동회로는 3가지 모드로 나눌 수

있고 Q4를 ON 함으로써 TIME DELAY 없이 R1를 통해 Q1도 ON이 되게 되고 이모드가 MODE A 인 POWERING MODE로 고정자 권선에 전류가 인가 되면서 여자에너지가 발생하고 토크가 발생 하게된다.

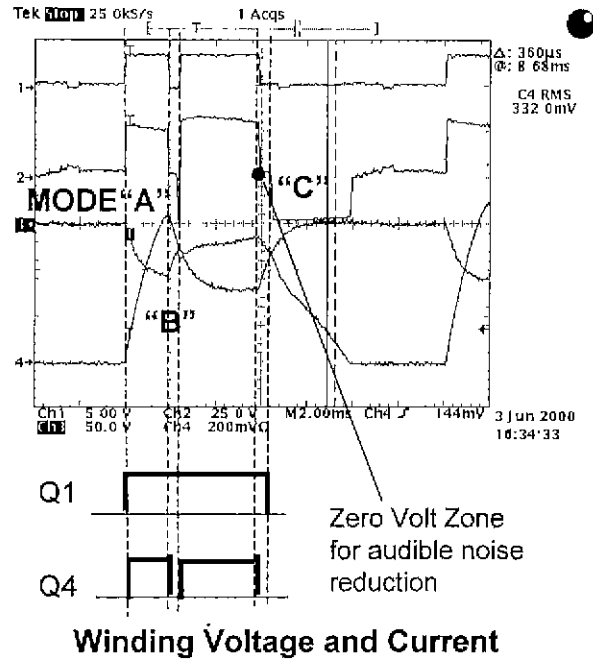


그림4. 구동신호 및 권선의 전압과 전류 및 캐패시터(C2)전압 파형

그 다음으로 Q4가 OFF 되면서 C2에 충전 돼있는 전압으로 일정시간 Q1이 ON 되어 있는 상태인 FREEWHEELING MODE로 여자 에너지를 서서히 감소 시키는 모드로써 고정자의 진동을 저감함으로써 소음저감의 효과가 있을 수 있다. 이를 DUAL-DECAY 회로라고 하고 캐패시터 1개로 실현 가능 하였다.

그 다음 단계는 C2에 충전된 전압이 거의 방전이 되면서 Q1과 Q2가 OFF되는 RECOVERY 모드인 MODE C가 되면서 여자에너지가 급속히 감소 하고 토크가 발생되지 않는 것을 반복함으로 회전 하게 된다.

2.3 소음 분석

SRM의 주요 소음원은 토크 리플과 RADIAL FORCE로 나눌 수 있으며 FAN과 같은 관성 부하에서는 반경방향의 힘이 크다고 볼 수 있다.

그림5에서 보는바와 같이 Q4의 스위치를 OFF 할

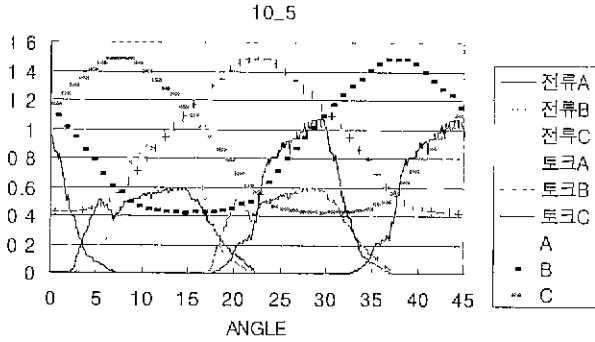


그림5. 각상의 인덕턴스 및 전류,토크 파형

시점에 토크가 큼을 알수 있고 이것이 고정자를 변형시키며 진동의 주원인이라고 할수 있고 그림6은 고정자의 변형 정도를 나타내고

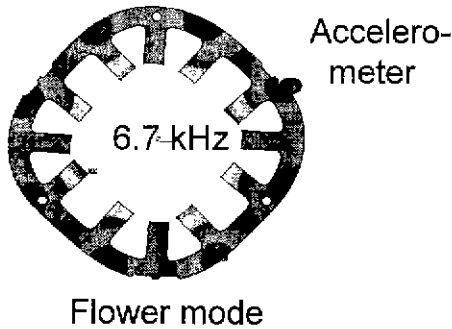
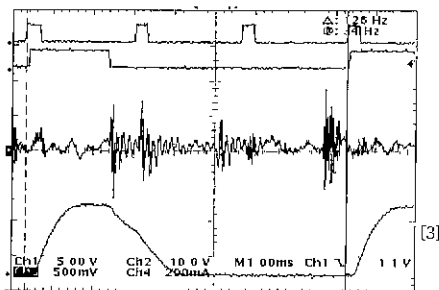


그림6. STATOR의 변형

그림7은 스위치 Q4가 TURN-OFF시의 실제 진동을 측정 한 결과이며 실제로 충전캐패시터 C2를 제거하고 측정 했을 때 진동폭이 커짐을 알 수 있었다.



Small Vibration on Stator

그림7. 진동 측정 파형

그리고 이러한 진동을 줄이기 위해 YOKE의 두께를 증

가 시키는 방법도 있으나 이것은 실제적으로 여러 가지의 제한을 받게 된다.

3. 실험

DUAL-DECAY의 구동 방식을 구현함에 FAN부하를 이용하여 실험을 하였고 실질적으로 Q1를 ON시켜주는 저항 R1이 중요함을 알 수 있었다.

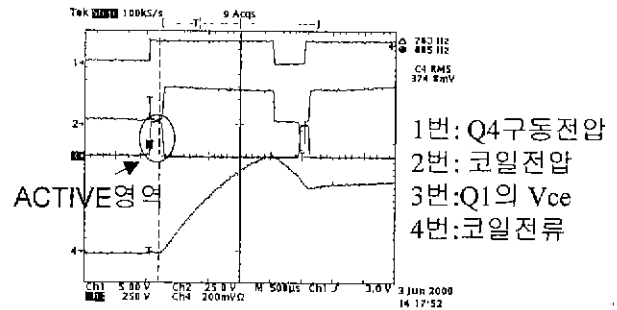


그림8. DUAL-DECAY회로 구동파형 (R1제거시)

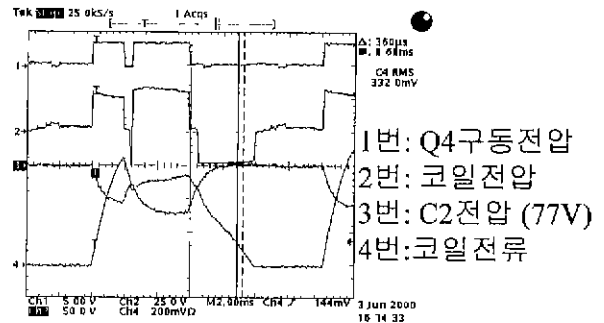


그림9. DUAL-DECAY회로 구동파형

그림8에서 보는바와 같이 Q1를 ON시켜주는 저항R1이 없을 경우 C2캐패시터에 전압이 서서히 충전 되면서 Q1의 베이스에 전류도 서서히 흐르면서 ACTIVE 영역이 발생하므로 Q1의 원하는 TURN-ON 시점이 다르게 되고 또한 소자의 온도에 따라서도 변화함으로 재 성능을 출력 할 수 없으므로 저항R1를 추가함으로써 그림9에서 보는바와같이 ON시점을 일정하게 하고 DUAL-DECAY의 성능을 확보 할 수 있었다.

이와같은 방법으로 진동을 순화 시킬 수 있었고 그림10은 실험에 사용된 모터의 발생소음을 나타낸 것이고 참고로 유도기의 소음파형도 비교치로 제시한다.

소음 파형의 Base line은 Fan부하의 소음특성이며 Stator 진동에 의한 소음은 실제적으로 미미하게 나타났고 스위칭주파수인 1,2,3차 고조파성분의 Peak성 소음은 있으나 그음이 미미하여 그림10에서 보는바와 같이 유도기의 소음특성과 비교해서 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

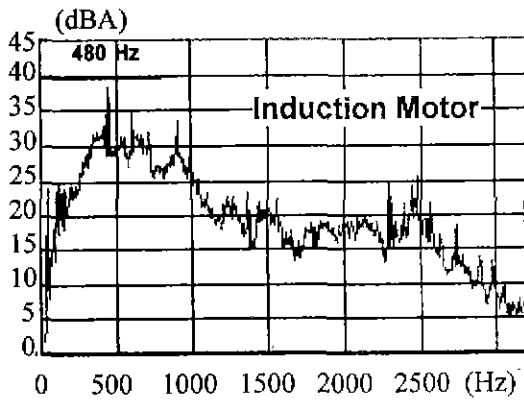
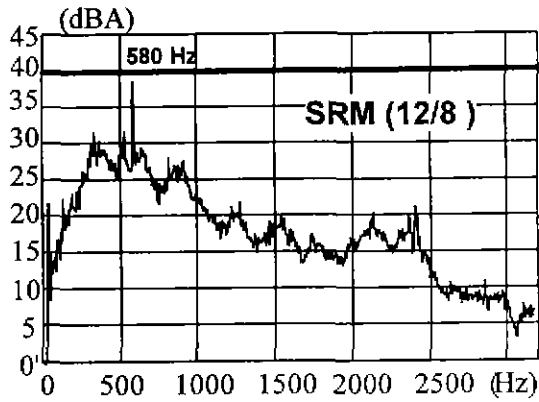


그림10. 모터의 소음 특성

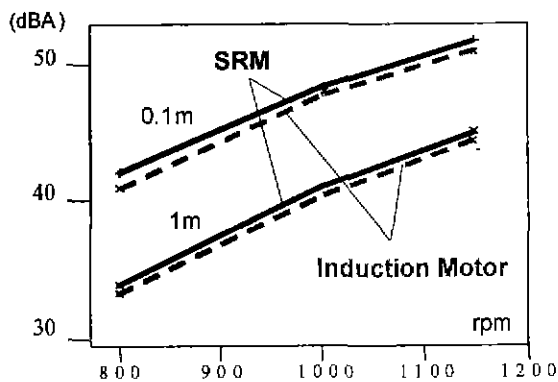


그림11. Overall 소음 특성

그림11은 SRM과 유도기의 Overall(소음치)를 비교한 것으로 SRM이 약0.5dB정도 높은 것으로 나타났으나 소음질적인 측면에서 큰 차이가 없음을 보였다.

4. 결 론

가전제품 적용에 있어서 SRM의 어려운 점은 구동방식에 따른 소음과 가격 경쟁력의 단점이 있고 이를 해결하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 이러한 두 가지의 문제를 해결 할 수 있는 간단한 회로를 제안하였으며 실험적으로 효과가 있

음을 보였고 유도기와 비교해서 전체 소음치와 실제 느끼는 소음의 질도 거의 유사한 수준임을 확인 했다. 가격 또한 유도기와 비교해서 산출해본 결과 동등 또는 그이하의 가격임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Wu, C. Pollock, "Time Domain Analysis of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Motor Drive," : *IEE 1993 International Conference on Electric Machines and Drive*, pp. 558-563

[2] C. Pollock, Chi-Yao Wu, "Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Motors," : *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33 pp. 477-484, 1997