

## SRM의 여자방식에 따른 진동 및 소음특성

황형진, 원태현\*, 안진우  
 경성대학교, 동의공전\*

### Vibration and Acoustics Noise Characteristic of SRM by Hybrid Excitation Method

Hyung-Jin. Hwang, Tae-Hyun Won\*, Jin-Woo. Ahn  
 Kyungsung Univ., \*Donguei Institute of Technology

#### ABSTRACT

The simple motor construction and low cost, fault tolerant power electronic drive has made the switched reluctance drive a strong contender for many applications. But the switched reluctance drive does exhibit higher levels of vibration and acoustic noise than that of most competing drives. The main source of vibration in the switched reluctance drive is generated by rapid change of radial force when phase current is extinguished during commutation action.

In this paper, a hybrid excitation method is proposed to reduce vibration and acoustic noise of the switched reluctance drive. The hybrid excitation has 2-phase excitation by long dwell angle as well as conventional 1-phase excitation. The vibration and acoustic noise are reduced because the scheme reduces abrupt change of excitation level by distributed and balanced excitation.

#### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM이라 함)는 고출력, 고효율, 단위 체적당 높은 토크, 넓은 가변속 범위, 경제성 있는 인버터 전력의 관점 등 많은 부분에서 우수한 특성을 가지나 기존의 구동장치보다 높은 레벨의 소음과 진동을 나타내고 있다.

이에 SRM이 정밀제어 및 가정용 전자제품 응용에 그 영역을 넓히는데 장애가 되고 있어 토크 맥동의 억제와 엄격한 소음과 진동의 저감에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

회전자의 위치에 따라 토크 맥동이 발생하며 이

는 전동기의 토크-속도 특성의 안정도를 낮게 한다. 또한 이는 토크 발생구간에서 상대적으로 상간 전류작용이 원활하지 못하면 더욱 심화되어 이를 저감하기 위해 적절히 중첩을 하는 방법이 제시되고 있다[3,4].

진동·소음 발생 원인으로는 크게 기계적인 원인과 전자기적인 원인이 있다. 기계적인 원인으로는 공심의 동심도, 직전도, 접촉 마찰, 중량 불균형 제작 등과 같은 제작상의 문제와 베어링과 같은 적용 부품에서의 기계적인 진동과 공기와의 마찰 등에 의해 소음이 발생한다. 전자기적인 원인으로는 상 스위치의 온, 오프 순간에 발생하는 갑작스런 기자력의 변화에 의한 수축 팽창작용 등이 있다.

본 논문에서는 진동, 소음의 주원인인 급격한 기자력의 변화를 완화시키는 방법으로 한 상의 스위치 오프 전 다른 상이 동작하도록 중첩을 시키는 하이브리드 여자방식을 채택하였다. 또한 상간 적절한 중첩으로 인하여 토크 맥동도 현저하게 줄일 수 있었다. 그러나 이러한 방법은 2상 동시여자 구간에서 도통각이 늘어나 상 커뮤테이션시 상전류의 소호시간이 길어져 효율의 저하를 가져오는 단점이 있다. 본 연구에서는 C-dump 인버터를 사용하여 보완하고 시뮬레이션과 제어시스템의 구현을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 하이브리드 여자방식의 SRM 구동

본 연구에서 6/4극 SRM 구동 시스템은 하이브리드 여자를 위한 SRM의 권선 구성은 기존의 단절권 1상 여자방식과 같게 한다. 2상 여자 방식의 가변 상호인덕턴스 성분의 조합을 효과적으로 이용하기 위하여 권선의 여자방향 중 b상의 상 여자 방향을 바꾸어 반대극성으로 여자함으로써 자속 경로의 방향이 한 방향으로 일어나도록 구성하였다.

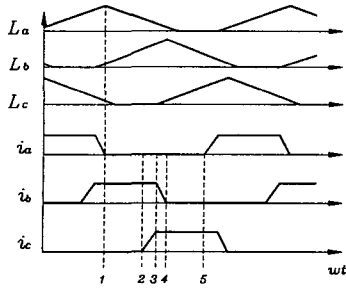


그림 1. 하이브리드 여자방식의 인덕턴스 프로파일에 따른 상 전류 파형

Fig. 1. Inductance profile, and phase current of hybrid excitation method

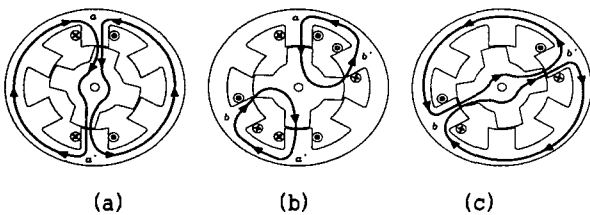


그림 2 하이브리드 여자에 의한 자속분포.

(a) a상 여자 (b) a,b상 여자 (c) b상 여자

Fig. 2 Flux distribution by hybrid excitation

(a) ph. a excited (b) ph. a,b excited

(c) ph. b excited

## 2. 2 하이브리드 여자방식에 의한 토크 발생

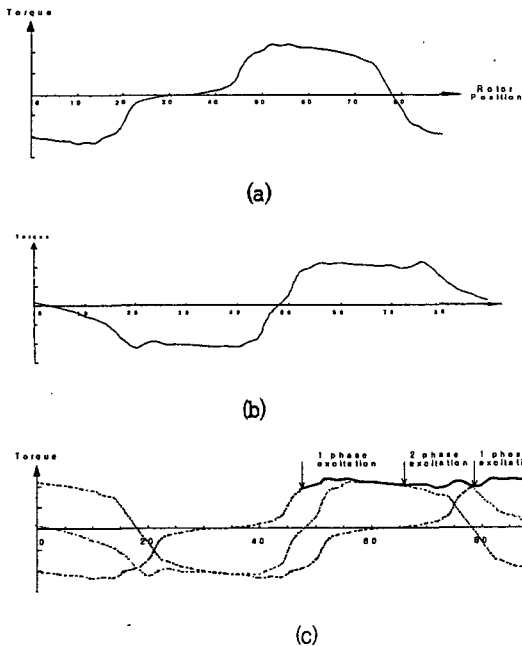


그림 3 회전자 위치에 따른 토크.

(a) 1상 여자 (b) 2상 여자 (c) 하이브리드 여자

Fig. 3 Torque according to rotor position

(a) 1-phase excitation (b) 2-phase excitation

(c) hybrid excitation

그림 1은 하이브리드 여자방식에 따른 인덕턴스와 각 상전류 파형을 보여주며, 그림 2는 각 여자 상태별 자계경로를 나타내고 있다. b상이 오프하기 이전에 c상을 온함으로써 그림 1에서 2-3사이에 두상이 동작을 하게 되어 b상이 오프 시에 발생하는 과도한 진동, 소음을 저감할 수 있으며 중첩되게 함으로서 상간의 전류과정에서 발생하는 토크 맥동을 저감시킬 수 있다.

그림 3은 상여자 방식에 따른 시뮬레이션(Vector Fields사의 오페라) 토크를 나타내고 있다. 그림 3(c)에서 볼 수 있듯이 1상여자와 2상여자의 중첩을 적절히 조합을 하면 토크 맥동을 저감하고 한상이 스위치 오프하기 전에 적절한 제어를 병행하면 급격한 기자력의 변화를 억제하여 진동, 소음도 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

## 2. 3 C-dump 인버터의 적용

하이브리드 여자방식에서 앞서 논한 바와 같이 상전류 소호 시간증가로 인한 효율이 저감된다. 이 영향을 줄이기 위하여 본 연구에서는 그림 4와 같이 전력 회생부를 Boost회로로 구성한 C-dump 인버터를 응용함으로써 상 스위치의 제어와 전력 회생용 초핑 스위치의 제어를 분리하여 상당 하나의 스위치가 필요하고 상전류의 중첩이 가능하도록 상간의 완전한 독립성을 지닌다. 그러면서도 에너지 회수용 커패시터 전압의 크기가 곧 역전압의 크기가 되게 함으로서 커패시터의 동작전압에 부담은 크게 경감된다.[3]

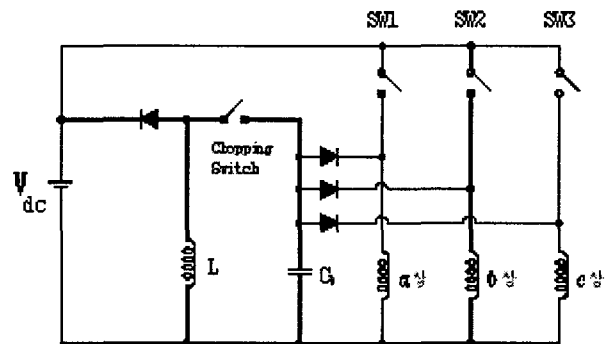


그림 4 하이브리드 여자방식을 위한 C-dump 인버터.

Fig. 4 C-dump inverter for hybrid excitation method

그림 5는 하이브리드 여자방식에 의한 운전 시비대칭 인버터의 상전류 파형과 본 논문에서 제안한 인버터에서의 상전류 파형을 보이고 있다.

C-dump 인버터를 이용한 하이브리드 여자방식에서는 매우 짧은 시간 동안 상 권선의 축적 에너지가 커패시터로 회수됨으로, 비대칭 인버터에 비

해 상전류의 커뮤테이션 시 전류의 소호를 빠르게 할 수 있어 효율의 저감없이 소음진동을 저감시키고 맥동토크를 완화시키려는 하는 목표를 이룰 수 있다.

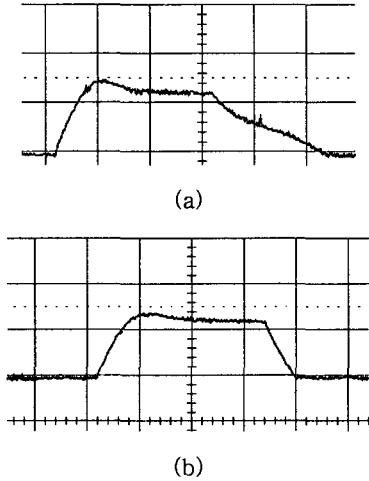


그림 5 하이브리드 여자방식에서 상전류. (0.5ms/div, 20mV/div)  
 (a) 비대칭 인버터 (b) C-dump 인버터  
 Fig. 5 Currents in hybrid excitation. (1ms/div, 20mV/div)  
 (a) asymmetric inverter (b) C-dump inverter

## 2. 4. 진동, 소음 저감의 실험적 해석

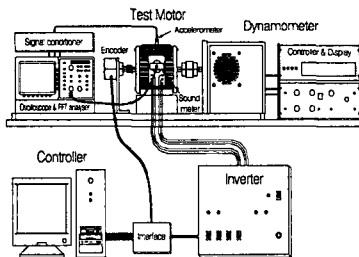


그림 6. 실험 시스템의 구성도  
 Fig. 6 Configuration of test system

본 실험에 이용된 전동기는 회전자와 고정자의 극호각이 각각 16°와 17°인 600[W]급 12/8극 SRM이며, 부하실험 및 진동·소음 실험을 위하여 동력계(MAGTROL社의 Model No.:HD-705-7)와 진동 가속도 센서(Piezotronics社의 M353B65 Mini High Sensitive Accelerometer) 및 소음측정기(CEL社의 디지털 사운드메터)를 사용하여 구성하였다. 여기서 진동 가속도 센서는 고정자 극의 프레임 표면에 부착되어 졌고, 소음 측정기는 프레임에서 0.3[m] 지점에 방사방향으로 설치하였다.

속도에 따른 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식의 비교는 그림 7에서 보여주고 있다. 그림 7(a)는 소음의 비로 두 방식 모두 속도의 증가에 따라

소음은 커지나 전 속도구간에서 하이브리드 여자방식이 소음이 작고, 1상 여자방식에서 일부 속도에서 소음이 심한 현상도 없다.

또한 진동특성은 소음 특성과 유사하며 전반적으로 하이브리드 여자방식이 진동이 작음을 알 수 있다. 효율특성은 전반적으로 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식이 거의 유사함을 알 수 있다. 이 결과로서 하이브리드 여자방식을 채택함으로써 소음진동을 저감할 수 있었고 c-dump 인버터를 사용하여 문제점으로 대두된 효율의 저하를 개선할 수 있었다.

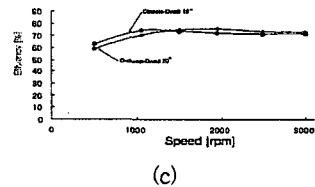
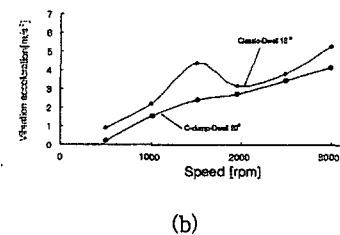
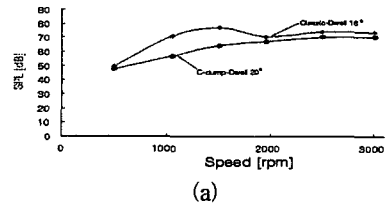


그림 7. 속도에 따른 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식의 비교 (부하 5[kg·cm])  
 (a) 소음 (b) 진동가속도 (c) 효율  
 Fig. 7 Comparison between 1-phase excitation and hybrid excitation according to speed (load 5[kg·cm])  
 (a) noise (b) vibration (c) efficiency

## 3. 결 론

SRM의 여러 장점으로 그 활용 범위가 점차 확대되고 있으나 가정용 등에 적용하는데 있어서 타 전동기에 비하여 큰 토크 맥동과 진동·소음에 문제가 있다.

방사 방향의 급격한 기자력의 변화가 진동·소음의 발생에 가장 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 논문에서는 방사 방향의 급격한 전자력의 변화를 저감시키는 방법으로서 하이브리드 여자방식을 적용하였고, 이를 이용하여 진동·소음을 저감할 수 있었다. 또한 상간 전류작용이 원활

하지 못해 발생하는 토크 맥동도 현저히 저감 할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 검증하였으며 효율의 저감을 C-dump 인버터를 적용하여 개선하였고, 또한 진동·소음을 개선할 수 있었다.

이 연구는 BB 21 Project 지원에 의하여 수행되었음

### 참 고 문 헌

- [1] Jawad Faiz and John W.Finch ; "Aspects of Design Optimization for Switched Reluctance Motors," IEEE Trans. on EC, Vol.8, No.4, pp.704-713, 1993
- [2] R.C. Becerra, M. Ehsani, and T.J.E. Miller; "Commutation of SR Motors", IEEE Trans. on PE, Vol.8, No.3, July 1993
- [3] P.C. Kjaer, J.J. Gribble, T.J.E. Miller ; "High-Grade Control of Switched Reluctance Machines," Proc. of IAS/IEEE Sandiego, California, pp.92-100, 1996
- [4] Iqbal Husain, M. Ehsani ; "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Motor Drives by PWM Current Control," IEEE Trans. on PE, Vol.11, No.1, pp.91-98, 1996.
- [5] Chi-Yao Wu, Charles Pollock ; "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.1, pp.91-98, 1995.
- [6] Derrick E. Cameron, Jeffrey H.Lang and Stephen D.Umans ; "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors," IEEE Trans. on IA, Vol.28, No.6, pp.1250-1255, 1992.
- [7] 추영배, 황영문 : "최적 전자에너지 회수작용을 갖는 VRM 시스템의 적정정수해석", 대한전기학회논문지. Vol.44, No.11, pp1457-1463, 1995.
- [8] 김창섭, 오석규, 안진우 : "'하이브리드 여자방식 SRM의 진동·소음 저감 특성", 대한전기학회 하계 학술대회논문집, B권, pp638-640, 2000