

# 변형된 dual-decay 회로를 이용한 SRM 의 소음 저감

오 재윤<sup>o</sup>, 임 준영, 김 형섭, 정 달호  
LG 전자 리빙시스템 연구소

## Reduction of Noise for Switched Reluctance Motor With Modified dual-decay Circuit

Jae-Yoon Oh<sup>o</sup>, Jun-Young Lim, Hyung-Sup Kim, Dal-Ho Cheong  
Living System Research Lab. LG Electronics Inc.

### ABSTRACT

은 고정자에만 집중권 형식으로 감겨 있다.

The recent flurry of activities and interest in Switched Reluctance Motor(SRM) has focused attention on various issues associated with implementing the SRM in the mass commercial Market. One such issue is the noise generated by radial force.

In this paper, we proposed the circuit to reduce the noise of SRM using LC Resonant characteristic. The usefulness of proposed circuit is verified by experimental result.

### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)는 견고한 구조와 간단한 회로 구성으로 저가격 응용 분야에 적합한 대체 모터로 많은 연구 개발이 되고 있다. 그러나 구조적 특성과 구동 방식으로 인해 소음 문제가 제기되며 이러한 특성은 SRM 이 실제 적용되는데 가장 큰 문제점이 되고 있다. 이미 SRM 의 소음 저감을 위한 많은 논문들이 제안되었으며 그 중 특히 Dual-Decay 회로는 간단한 구현 방법으로 높은 실현 가능성을 갖고 있다. 그러나 Dual-Decay 방식 역시 Turn-Off 시의 전류의 급격한 변화를 줄여줄 뿐 근본적인 해결을 하지는 못하고 있다.

본 논문에서는 변형된 Dual-Decay 회로를 이용하여 Turn-Off 시의 전류 파형을 소음 저감에 적합하게 변형할 수 있는 방법을 제안하며 실험을 통하여 제안된 방식이 타당함을 확인하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 모터의 구조적 특징과 구동 방식

그림 1 은 기본적인 3 상 구조의 SRM 을 보여준다. 고정자와 회전자 모두 돌극형 구조이며 권선

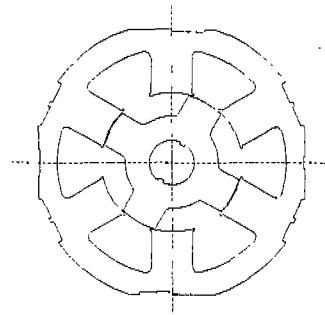


그림 1. 3 상 SRM 의 구조 (6/4 구조)

고정자 권선에 전류를 가하면 자기 회로의 저항을 최소로 하는 방향으로 회전력이 발생하는 Reluctance Torque Type 의 모터이며 적절한 위치에서 전압을 인가하기 위하여 회전자의 위치를 센싱할 필요가 있다.

가장 대표적인 구동회로 방식은 그림 2 와 같은 Assymetric 구조이며 다른 구동 방식 회로와 비교하여 소자 전압이나 demagnetizing 성능이 우수한 특징이 있다.

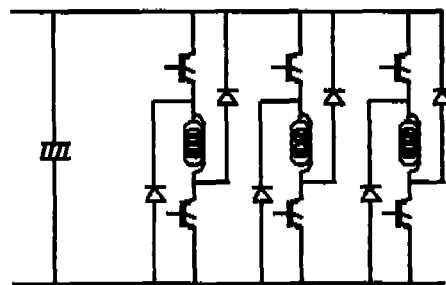


그림 2. SRM 의 구동 회로

#### 2.2 소음원 분석

SRM 의 소음원은 크게 토크 리플과 반경 방

향힘(Radial Force)의 변화로 나눌 수 있으며 Fan과 같은 관성 부하에서의 주된 소음원은 경방향의 힘이라고 볼 수 있다. 그림 3은 전류 파형과 경방향 힘을 보여주고 있으며 Turn-Off시 경방향 힘의 변화가 가장 큼을 알 수 있다.

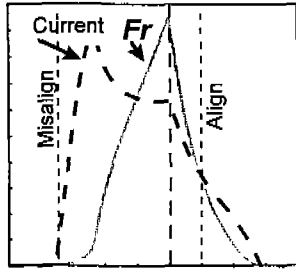


그림 3. 전류 파형과 Radial Force

이러한 경방향 힘은 상이 여자됨에 따라 그림 4와 같이 고정자를 변형시키며 이러한 진동이 SRM의 주된 소음원이 된다. 따라서 SRM의 소음 저감을 위해서는 yoke의 두께를 두껍게 해주면 되지만 기계적인 제한을 받게 된다.

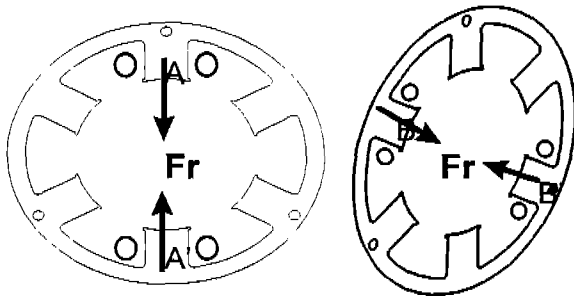


그림 4. SRM의 고정자 변형

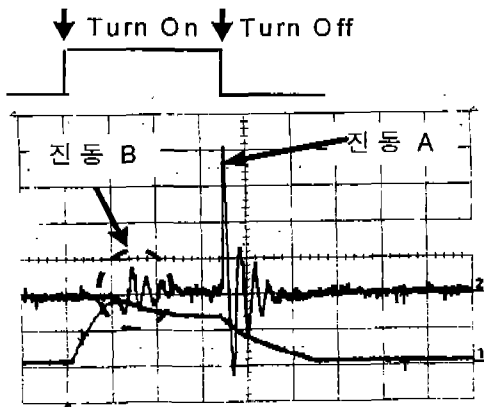


그림 5 진동 측정 파형

그림 5는 소음원을 확인하기 위하여 3상 모터의 한상만을 여자시키며 진동을 측정한 실험

파형이다. 그림에서 진동 A는 상이 Turn-Off 될 때 발생하는 진동으로 앞서 말한 경방향 힘의 영향이며 진동 B는 토크리플에 의해 발생하는 진동으로 주된 소음원이 경방향 힘의 변화임을 알 수 있다.

### 2.3 Dual-Decay 회로

앞서 분석된 것처럼 SRM의 소음 문제를 해결하기 위해서는 Turn-Off시 전류의 급격한 변화를 줄여주어야 하며 이러한 전류의 변화는 인가되는 전압과 매우 큰 관련이 있다.

Dual-Decay 회로는 윗상과 아랫상의 스위치를 서로 다르게 Turn-Off하여 실제 그림 6과 같은 전압을 권선에 인가하게 된다. 이 경우 윗상과 아랫상 사이의 delay 구간만큼 Freewheeling 구간이 발생하며 따라서 전류가 서서히 감소하게 된다.

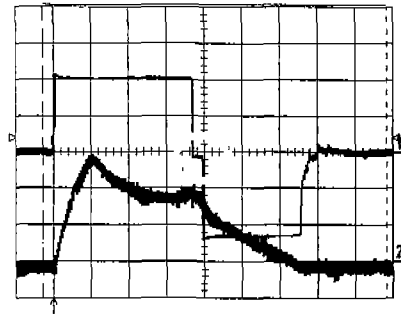


그림 6 Dual-Decay 회로의 전압, 전류 파형

이러한 Dual-Decay 회로도 소음 저감에 효과가 있으나 전압의 단계적인 변화 순간에 역시 진동에 의한 소음이 발생하게 되어 근본적인 해결이 되지 않는 것이다.

### 2.4 변형된 Dual-Decay 회로

일반적인 Dual-Decay 회로는 Turn-Off시 그림 2와 같은 Asymmetric 회로에서 아랫상만을 Turn-Off시키고 정해진 delay 시간후에 윗상을 다시 Turn-Off 시킴으로 그림 6과 같은 전압 파형을 만들어 낸다.

그림 7과 같이 제안된 회로에서는 일반적인 Dual-Decay 회로와 같은 방식으로 Turn-Off가 되지만 Freewheeling Diode와 병렬로 연결된 Capacitor의 영향으로 총방전이 일어나며 그림 8과 같은 전압 파형을 만들게 된다.

이 경우 사용되는 Capacitor는 병렬로 연결된 Diode 때문에 역방향으로는 거의 전압이 걸리지 않으며 따라서 공진 현상을 이용하더라도 일반적인 Capacitor를 사용할 수 있다.

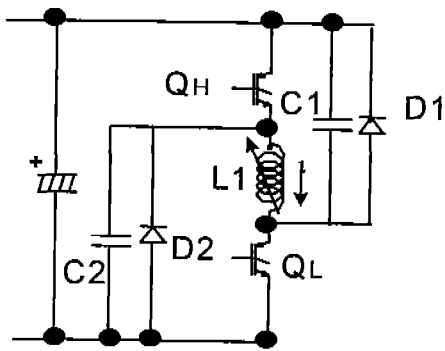


그림 7 제안된 Dual-Decay 회로

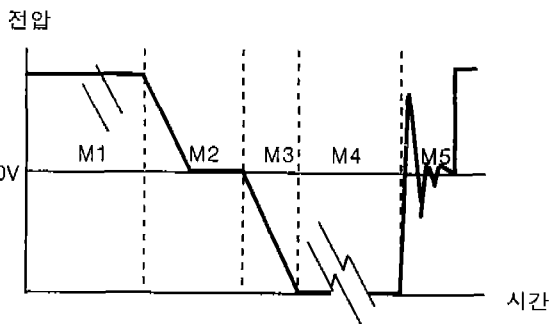
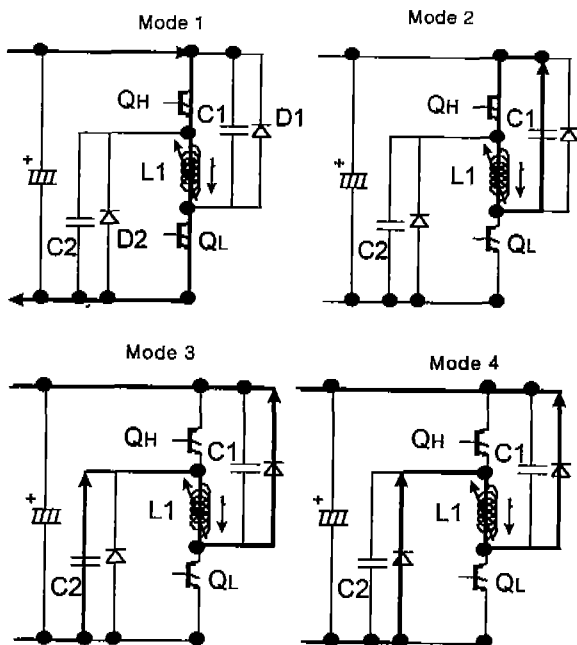


그림 8 제안된 회로의 동작 원리

그림 8과 같은 전압의 인가시 구간 M2, M3에서의 전류의 변화를 기존 방법보다 더 줄일 수 있으며 이로 인한 소음 저감을 실험으로 확인할 수 있다.

### 3. 실험

본 논문의 타당성을 검증하기 위하여 Fan 부

하를 이용하여 실험을 행하였다.

기존의 Dual-Decay 회로에 의한 전압, 전류 파형과 제안된 방법에 의한 전압, 전류 파형의 비교가 그림 9에 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 인가되는 전압의 파형이 크게 다를 수 있다. 기존 방식의 경우 전압의 단계적인 변화 순간에 진동이 발생하게 되는 반면 제안된 방식에서는 이러한 진동을 순화시킬 수 있다.

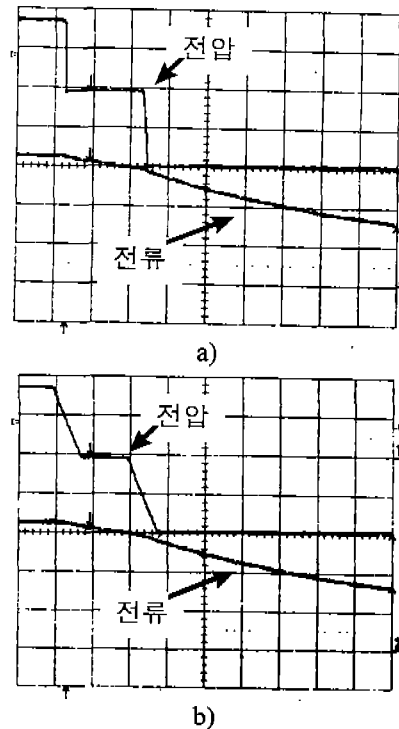


그림 9 Turn-Off시 전압, 전류  
a) 기존 방식 b) 제안된 방식

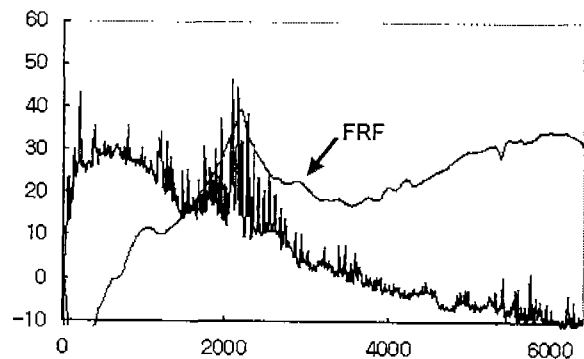


그림 10 모터의 고유 진동수와 소음 특성

그림 10은 실험에 사용된 모터의 고유 진동수와 발생 소음의 상관 관계를 보여준다. 소음 파형의 Base line은 Fan 부하의 소음 특성이며 2KHz 부근의 peak 소음이 모터의 고유 진동 특성과 가 진력에 의해서 발생하는 소음이다. 특히 이 주파수대의 소음은 이상 소음으로 인식되는 만큼 실

제 적용시에는 많은 문제점을 야기하게 된다.

그림 11은 실제 Fan 부하에 적용하였을 때의 소음 특성의 비교이다. 그림에서 알 수 있듯이 2KHz 부근에서 기존 방식에 비하여 제안된 방식의 소음 peak 값들이 감소되었음을 알 수 있다. 특히 2KHz 대의 소음값이 감소하였으므로 소음질적인 면에서 많은 차이를 보이게 된다.

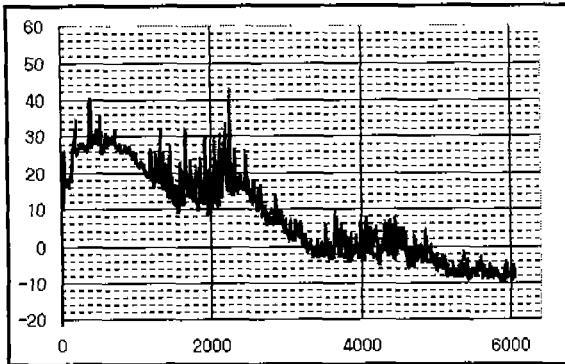


그림 10 소음 특성 비교

#### 4. 결론

제품 적용에 있어서 SRM의 가장 큰 단점은 구동 방식으로 인한 소음이며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 연구가 되고 있다.

본 논문에서는 많은 비용의 추가 없이 소음 문제를 해결할 수 있는 회로를 제안하였으며 실험적으로 효과가 있음을 보였다. 특히 전체 소음 level 뿐 아니라 실제 느껴지는 소음질에도 많은 향상이 있음을 실제 실험 과정에서 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Wu, C. Pollock, "Time Domain Analysis of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," *IEE 1993 International Conference on Electric Machines and Drives*, pp. 558-563
- [2] A. Michaelides, C. Pollock, "Reduction of Noise and Vibration in Switched Reluctance Motors : New Aspects", IEEE, 1996
- [3] C. Pollock, Chi-Yao Wu, "Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Drives," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 477-484, 1997