

RPWM에 의한 SRM의 소음 저감

임영철, 김광현, 나석환, 김현덕, 안정훈
전남대학교 전기공학과

Reduce Acoustic Noise in SRM Using RPWM

young-chol Im, kwang-heon Kim, sock hwan Na,
hyoun-dug Kim, jung hun An
Chonnam National University

Abstract

For the practical using the SRM by domestic application, we must of all have solution to the noise and the vibration. This paper presents the acoustic noise emitted from the SRM. The emitted noise it particularly strong when the frequency of deformation coincides with that of a natural mechanical resonance of the stator. To reduce the emit acoustical noise varying the switching frequency randomly. We will consist of SRM control system by using DSP, and confirm the effects of the noise reduction

1. 서론

각종 산업의 발전과 더불어 전동기의 가변속 구동에 대한 요구가 점점 증가하고 있다. 종래에는 이러한 전동기로 가전제품과 산업 현장에서 유도 전동기가 많이 사용되는 것은 구조가 간단하여 가격이 저렴하고 고장이 적기 때문이다. 그런데 근래에 와서 값싼 전력용 반도체의 출현과 이에 대한 제어기술이 발달함에 따라 전동기구에 관한 연구도 다양하게 진행되고 있다. 즉, 유도 전동기는 근본적으로 회전자계형 토오크 발생기 구이므로 펄스형 전력변환장치로 제어하는 경우에는 불규칙한 펄스형 고조파전압, 전류에 의해 유발되어 고조파손실, 기계구조에의 스트레스 및 주변기기에의 잡음고조파의 영향 등이 일어난다.

최근에 반도체 소자를 이용한 드라이버에 부합되는 펄스구동형 전동기구에 대한 개발의 필요성이 대두되었으며, 이에 적합한 전동기구가 가변 릴럭턴스 전동기이다. 릴럭턴스 토오크는 릴럭턴스 변화에 의한 흡인력을 이용하는 방식으로 자기적 구조뿐만 아니라 제어원리가 간단하다. 이를 실용화한 방식이 SRM(Switched Reluctance Motor)이다.

SRM은 이중 돌극을 갖는 자기적 구조에 고정자에만 집중권선을 가진 간단한 전기-기계 에너지 변환기구로서, 회전자 구조가 규모장판을 적용한 것에 불과한 간단한 구조로 되어 있으며 제조과정이 간단하고 관성이 매우작을 뿐 아니라 제작비용 또한 저렴하며 고속 운전이 가능하다. 회전자에 영구자석이 없으므로 영구자석형 전동기에 비하여 온도상승에 따른 문제가 없고 토오크가 상 전류의 극성에 무관하므로 구동 회로에서 스위칭 소자의 개수를 줄일 수 있다[1~2].

이상과 같은 이점에도 불구하고 릴럭턴스 전동기의 전류파형은 펄스 형태의 연속적인 파로서 전압, 속도, 스위칭각도 및 부하토오크등의 운전 조건에 따라 전류파형의 형상이 다양하게 변화한다[3]. 이로인해 발생하는 여러문제중에 SRM이 가정용이나, 산업용으로 쓰여지기 위해서 극복해야할 최우선적인 문제로는 소음문제를 들 두 있다[4]. 따라서 본 연구에서는 SRM의 소음 발생 원인을 분석하고 소음저감에 효과적인 RPWM(Random Pulse Width Modulation)을 구현하여 소음저감에 대한 연구를 하고자 한다.

2. SRM의 소음원

다른 모터에 비해 SRM은 많은 소음원을 가지고 있다. 자기적, 기계적 원인에 의해 발생하는 소음은 SRM을 구동하는 알고리즘이나, 인버터에 의해 저감시킬 수 있다. 일반적으로 알려진 SRM의 소음원을 보면 다음과 같다[4~6].

1) 자기적 인력에 의한 소음

SRM은 구조가 이중돌극으로 되어있어 회전자와 고정자간의 자기적 인력에 의해 고정자에 변형을 유발시키고 이러한 변형력은 고정자에 진동을 유발하여 소음이 발생한다. 즉, 고정자에 입력되는 전류의 고조파 성분 중에서 고정자의 기계적 공진주파수에 해당하는 주파수에 의해 고정자의 진동이 최대가 된다. 따라서 전류의 형상을 고정자의 공진주파수를 최소로 포함하도록 만들면 된다. 그러나, 이 방법은 소음 저감에는 효과가 크나 효율과 다른 전기·기계적인 성능 저하를 가져오게 된다. 다른 방법으로는 협대역의 가청소음의 스펙트럼을 광대역화 함으로써 고정자의 기계적 공진주파수에 의한 소음을 줄일 수 있다.

2) 토크 리플에 의한 소음

SRM의 발생토크는 상전류 크기와 인덕턴스 변화율로 표시된다. SRM을 원하는 속도, 토포토크를 얻기 위해서는 상전류의 크기를 제어해야 한다 [5]. 그러나 전류가 변하면 발생토크가 변화하여 일정속도로 운전할수 없으므로 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 권선의 평균단자전압을 조정한다. 평균 단자전압 조정은 상전류의 크기가 일정한 범위내에서 존재하도록 스위치를 빠른 속도로 동작(초핑동작)시켜 행한다. 이러한 상전류를 조정하기 위한 스위칭 동작은 전류에 맥동을 일으키며, 이것은 출력토크에 맥동토크를 포함시키므로 전동기 소음이 증가한다. 원할한 전류제어 및 맥동 토포토크를 줄이기 위해서는 고속 스위칭 능력을 가진 전력용 스위치가 요구되나, 스위칭 동작에 따른 손실이 증가한다.

3) 권선진동

고정자의 권선에 흐르는 전류는 고정자의 자속과 작용하여 힘을 발생시키고 이힘에 의해 고정자권선에 진동이 발생한다.

4) 기계적 소음

제조상의 불균형으로 인해 자기적·기계적인 불평형, 베어링의 진동과 풍손에 의한 소음이 발생한다.

[4]에 의하면 이상의 네 가지 경우 중에서도 가장 큰 소음의 원인으로는 고정자와 회전자간의 자기적 인력에 의한 고정자의 변형력임이 밝혀졌다.

3. RPWM에 의한 SRM의 구동

저속에서는 고정자 권선에서 발생하는 역기전력이 적고 인덕턴스의 상승률은 느리므로 전류의 상승률은 매우 크다. 따라서 전류의 상승은 초핑에 의해서 전류의 크기를 제한하는 초핑제어가 필요하게 된다. 고속에서는 유도기전력에 의해 전류의 상승이 억제되므로 듀티 사이클을 1로 하고 대신 턴온과 턴오프각을 제어하게 된다[5]. 따라서 본 논문에서는 저속, 경부하시에 초핑제어를 할 때 가청소음을 저감하는데 목적을 둔다. 그림 1은 효율이 높고 제어기능이 다양하며 각 상의 전류제어가 독립적이어서 두 상의 전류 중첩이 가능한 비대칭 인버터 회로이다.

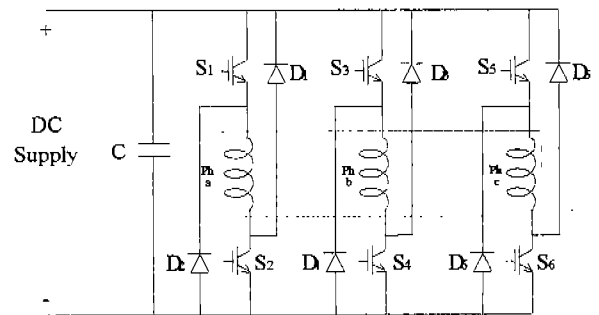


그림 1 비대칭 인버터

Fig. 1 Asymmetric inverter

그림 2는 초핑모드시의 SRM의 각 상전압, 상전류의 파형을 나타낸 것이다. 인덕턴스 프로파일은 선형적임을 가정하고 그린 것이다.

초핑시에 발생하는 가청소음을 저감하기 위해 본 논문에서는 삼각파 주파수 변조에 의한 RPWM을 구현하고 또한 속도 제어와 부하 조건의 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 변조 함수가 실시간적으로 변화할수 있도록 한다. 변조 함수는 랜덤함수를 선택한다. 랜덤함수를 선택하

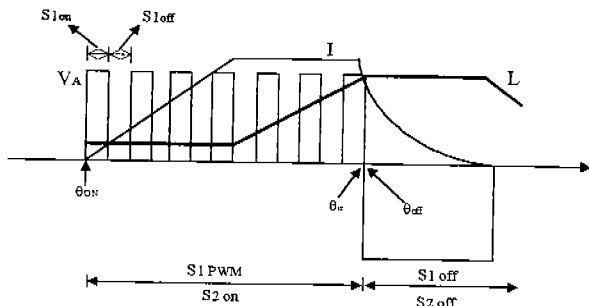


그림 2 초핑모드시 SRM 상권선의 전류, 전압, 인덕턴스 프로파일

Fig. 2. Current I, Voltage Va and Inductance Profile L for a SRM Phase Winding During Chopping Mode Operation

여 RPWM을 수행하면 전압, 전류 및 소음의 전체적인 파워스펙트럼의 세기에는 별 영향을 미치지 않으면서 스위칭 주파수만을 광범위하게 변화시킬 수 있다[6]. 이렇게 함으로서 협대역의 가청소음 영역을 넓은 범위로 분산시켜 가청 소음을 줄일수 있다. 그림3 은 변조함수에 의해 변조되었을 때 삼각파의 파형, 변조 함수의 파형을 나타낸 것이다.

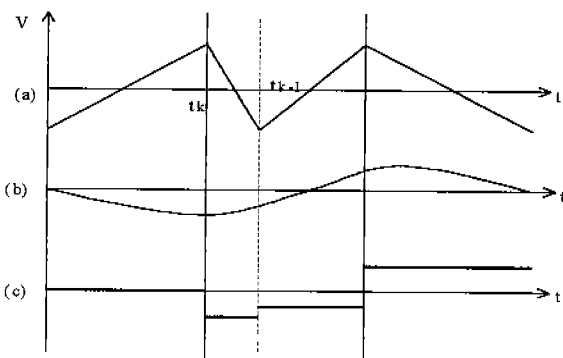


그림 3 RPWM의 신호파형: (a) 캐리어, (b)변조함수, (c)샘플된 후의 변조함수

Fig. 3. Waveforms with RPWM: (a)carrier signal, (b)modulation signal, (c)modulation signal after sample

랜덤함수를 사용하여 RPWM을 수행할 경우에 생성되는 스위칭 주파수는 이상적으로 수[MHz] 정도까지 되어 모든 주파수 영역의 스펙트럼이 고루 나타날 수 있지만, 현재 산업용 전력변환기

에 이용되는 전력용 반도체 스위칭 소자의 스위칭 주파수에는 한계가 있다. 따라서 랜덤 함수의 출력은 스위칭 소자의 주파수 한계를 감안하여 삼각파 랜덤 주파수의 최대값과 최소값을 설정하여야 한다.

4. 실험장치의구성

그림 4는 SRM의 스위칭 주파수를 랜덤하게 가변시키기위한 구성도이다. 실험장치는 크게 변조함수 발생부, 삼각파주파수 변조부, 전력변환장치, 전동기로 구성되어 있다.

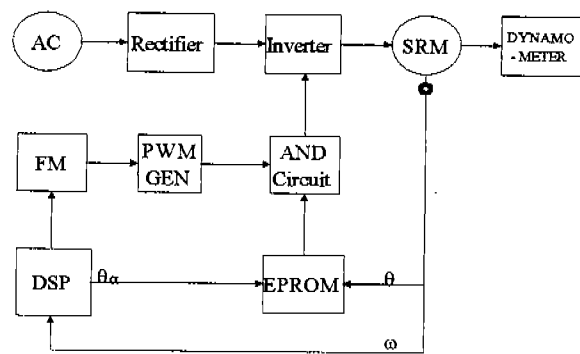


그림 4 시스템 구성도

Fig. 4. Block Diagram of System

1) 변조함수 발생부

스위칭 랜덤 주파수의 최대 주파수는 15[kHz]로 하고 8[kHz]를 중심 스위칭 주파수로 한다. 그리고 토크 맥동을 고려하여 최소 스위칭 주파수는 1[kHz]로 한다. 이러한 랜덤주파수 변조는 TMS320C31을 이용한다. 변조함수는 C언어의 라이브러리에 포함된 rand()함수를 사용한다 0~65,535의 범위를 갖는 리턴값이 스위칭 주파수 제한 범위에 들도록 하기 위해 나머지 연산자를 적용하여 이 리턴값을 삼각파의 중심주파수에 해당하는 값에 더한다. 이와 같이 구해진 값은 DSP에서 D/A 변환을 하여 삼각파 주파수 변조부로 전달된다.

2) 삼각파 주파수 변조부

DSP의 삼각파 랜덤 변조 알고리즘으로부터 출력되는 신호의 크기에 비례한 주파수를 갖는 삼각파 신호를 발생하는 부분이다. 고정주파수의

삼각파에 의한 PWM인버터에서 온/오프 스위칭 신호는 OP앰프에 의한 삼각파 발생 회로로 만들 수 있다. 그러나, 삼각파 랜덤 변조의 RPWM에서는 매 스위칭마다 랜덤한 주파수로 스위칭을 하여야 하므로 출력되는 삼각파는 연속적이어야 하며 빠른 응답성을 갖고 있어야 한다. 이를 위해서 MAX038 주파수 변조기를 사용한다.

3) 전력변환부

전력변환부는 상간의 전류중첩이 허용되어 다양한 스위칭각도의 제어특성을 실험할수 있는 비대칭 인버터를 사용한다[3]. 인버터의 전력스위칭소자는 IGBT를 사용하며, 전력부와 신호부의 전기적 절연을 하기위해서 최대 스위칭 주파수가 1[MHz]정도인 포토커플러 TLP559를 사용한다.

5 결론

SRM의 여러 가지 장점들로 인해 여러 분야에서 연구가 활발하게 진행되고 있지만 가정용이나, 산업용으로 사용하기 위해서는 저소음화가 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 SRM의 소음원을 분석하고, 스위칭 주파수를 랜덤하게 함으로써 SRM의 가장 큰 소음원인인 고정자의 기계적 공진주파수에 의해 발생하는 고정자와 회전자의 자기적 인력에 의한 변형력에 의한 진동을 줄일수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 황영문, "Reluctance Torque Motor Drive의 기술 동향과 전망", 대한전기학회 전기기기 연구회 심포지엄 및 학술회의 논문집 (33회), pp. 1-9, 1994. 6.
- [2] 황영문, "릴럭턴스 토오크 동력의 개발동향" 전기학회지 45권, 12호, pp. 20~27, 1996.
- [3] 강욱, "스위치드 릴럭턴스 전동기의 구동을 위한 새로운 분리 전원형 컨버터에 관한 연구", 박사학위논문, 성균관대학교, 1996
- [4] D. E. Cameron, J. H. Lang, and S. D. Umans, "The origin and reduction of acoustic noise in doubly salient variable-reluctance motors," IEEE Trans. Ind Applicat., vol. 28, no. 6, pp. 1250-1255, 1992

- [5] A. J. Ellison and C. J. Moore, "Acoustic noise and vibration of rotating electric machines," IEE Pro., vol. 115, no.11, pp. 1633-1640, 1968.
- [6] C. Y. Wu. and C. Pollock, "Time domain analysis of vibration and acoustic noise in the switched reluctance drive," Conf. Rec. 1993 6th Int. Conf. on Electrical Machines and Drives, IEE, pp. 558-563.
- [7] 안영주, "Switched Reluctance Motor의 적정 전압원 여자방식에 관한 연구" 박사학위논문, 부산대학교, 1995
- [8] 나석환, 최창률, 양승학, 김광현, 임영철, 박종건, "유도전동기의 스위칭 주파수대 소음 저감을 위한 실시간 RPWM 인버터" 조명·전기설비학회지 11권, 제 6호, pp.64~72, 1997. 12.