

서치 코일을 이용한 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터의 구동

김 중 건, 양 형 열, 임 영 철
전남대학교 전기공학과

Drive of Toroidal Switched Reluctance Motor Using Search Coils

Jong-Gun Kim, Hyong-Yeol Yang, Young-Cheol Lim
RRC & Dept of Electrical Engineering, Chonnam National University

Abstract - 본 논문에서는 위치 센서인 엔코더를 이용하여 토로이달 SRM을 구동시, 각 상의 슬롯에 감긴 서치 코일에서 유기되는 전압 파형을 분석했으며, 그 유기 전압을 이용해 회전자 위치를 추적하는 방법을 제안하였다. 그리고 이 추적 방법을 토대로 엔코더 없이 서치 코일만으로 위치를 검출하여 토로이달 SRM을 구동시키는 방법을 제안하였다. 엔코더를 사용하지 않고 서치 코일에서 특정지점을 검출하여 토로이달 6/4 SRM을 구동시켜 그 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

SRM은 이중 돌극 구조로 릴럭턴스 토크를 이용하는 모터로 고효율, 저비용, 시스템 제어성이 강하여 이에 대한 많은 연구가 활발히 진행중에 있다. 일반적으로 SRM의 제어를 수행하기 위해서는 레졸버, 엔코더 혹은 Hall 센서와 같은 회전자 위치 센서가 필요하며 잘 알려진 바와 같이 회전자 위치 센서는 비용을 증가시키며, 충격에 약하며, 압축기 등과 같은 고온 및 고압의 환경에서 신뢰성을 저하시킨다[1].

최근의 SRM관련 연구들은 센서리스 제어에 관심이 모아지고 있으며 연구 방향 또한 하나의 큰 흐름을 보이고 있다. SRM이라는 모터의 장점 중 하나는 전동기구가 간단하다는 것이고 그것으로 인한 낮은 제작비와 재료비용은 모터제작에 엄청난 경제적인 장점을 가져다 준다. 따라서 고가의 위치 센서의 사용은 이런 경제적인 장점에 정면으로 대치되는 문제며, 위에서 언급한 사용 환경의 문제점들은 센서리스 연구를 활발히 촉진시키고 있다[6].

그러나 간단한 구조에 비해서 회전자 위치에 따른 상 인덕턴스의 변화가 정현파가 아니라는 점과 전류 대 토크 발생비가 전류와 회전자의 함수로서 폭넓은 범위에 걸쳐 변한다는 점 등등의 비선형적 특성 때문에 SRM의 센서리스 연구에 어려움을 주고 있다[8].

최근 발표된 센서리스 방법들로는 전류 파형 모니터에 의한 회전자 위치 검출방식, 여자되지 않은 상에 임의의 펄스를 인가하는 방식, 상호 유도된 전압을 이용한 측정 방식, 주파수 조절 방식이 있으며 이것들은 검출에 어려움이 있다는 점, 부 토크가 발생하고 정밀도가 떨어진다는 점, 자기 포화 영향이 있다는 점, 정렬된 위치와 비정렬된 위치사이의 상 인덕턴스의 크기 변화에 따라 민감도가 결정되어 공극이 큰 기기 응용에는 적용하는데 어려움이 있는 여러 문제를 안고 있다[7].

본 논문에서는 낮은 제작비 및 보수율 등의 경제적인 가치와 사용 환경이나 회전자속도 제어의 영향을 받지 않는 효율적인 가치를 가지며 위치 센서의 기능과 역할을 수행하는 특징을 갖는 서치 코일을 이용하여 토로이달 SRM(TSRM: Toroidal Switched Reluctance Motor)을 구동시키는 방법을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전체 시스템 구성

전체시스템의 구성은 그림1과 같고 크게 PC, C167CR 마이크로 컨트롤러를 포함하는 주 제어 보드 부분, 범용 Full 브릿지 인버터를 모듈화한 IPM, 위치 정보를 획득하기 위한 엡솔루트 타입의 엔코더, 전류의 역류를 방지하기 위한 다이오드, 전기적 절연을 위한 포토 커플러 그리고 서치 코일을 내장한 토로이달 모터로 구성되어있다. 엔코더로 구동하는 경우에는 엔코더의 8 비트의 신호를 이용해서 회전자의 위치를 검출하고, 서치 코일로 구동하는 경우에는 유기되는 전압 파형을 A/D로 입력받아서 원하는 점을 검출한다. 서치 코일에서의 유기 전압 파형은 주 제어 보드에서 제어 할 수 있도록 증폭기로 OFFSET을 조정하도록 하였다. 또한 전류값 측정을 위한 전류 센서, 속도 디스플레이를 위한 LCD를 추가로 구성하였다.

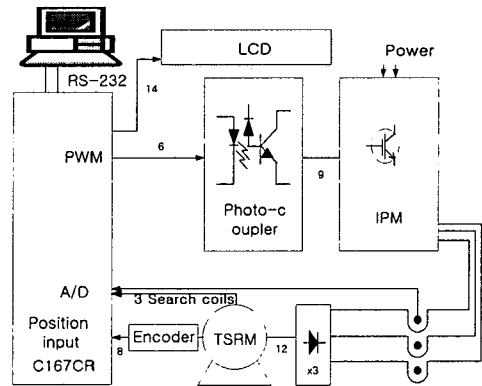


그림 1 전체 시스템 구성도

2.2 Toroidal SRM과 서치 코일

그림 2는 본 논문에서 사용된 6/4 토로이달 SRM과 서치 코일을 나타내었다. 이 TSRM은 고정자의 요크 부분에 권선이 감긴 형태로 3상중 2개상이 동시에 여자되는 것이 특징이다. 일반 6/4 SRM의 경우 한 상의 여자 구간은 30°이나 토로이달 SRM의 경우는 60°이며 30°씩 겹쳐서 여자된다. 따라서 각 상의 여자구간은 일반 SRM의 두 배가 된다. 회전자의 위치를 검출하기 위한 서치 코일은 고정자의 돌극에 각각 20turns씩 감았다. 토로이달 SRM을 구동하기 위해서 범용적으로 사용되고 있는 풀브릿지 형태의 인버터가 사용되었다. 또한 토로이달 SRM의 각 상은 델타결선으로 되어있으며 각 상에 전류를 단방향으로 흐르게 하기 위한 다이오

드가 부착되어있다.

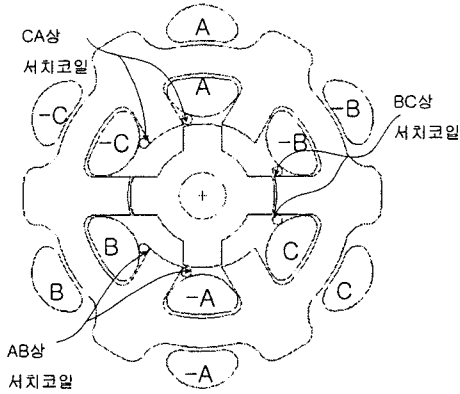


그림 2 Toroidal SRM과 서치 코일

2.3 엔코더를 이용한 구동시 서치 코일 파형 분석

그림 3은 토로이달 SRM의 엔코더를 이용한 구동시 2000rpm에서의 각 상의 전류 파형을 나타낸다. 6/4 토로이달 SRM의 경우 90°를 주기로 한다. 그림 4, 5, 6은 엔코더를 사용하여 토로이달 SRM 구동시 서치 코일에 유기되는 전압 파형과 상전류 파형이다. 검출된 서치 코일의 파형은 A/D 입력을 위하여 2.5V의 OFFSET이 주어진 파형이며, 해당 상의 ON구간에서 정(+)의 전압이 발생하고 OFF와 동시에 역전압이 걸리어 부(-)의 전압이 발생하고 잠시 후 다시 유기전압이 소멸되는 것을 알 수 있다. 즉 각 슬롯에 감겨있는 서치 코일에 유기되는 전압 파형에서 각 상의 ON시점과 OFF시점을 알아낼 수 있는 것이다.

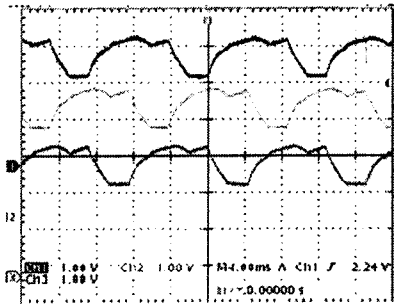


그림 3 엔코더를 이용한 구동시 3상 전류 파형

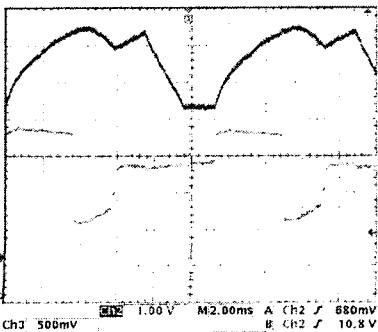


그림 4 Advance 0°

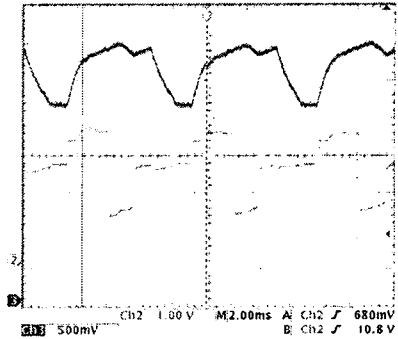


그림 5 Advance 10°

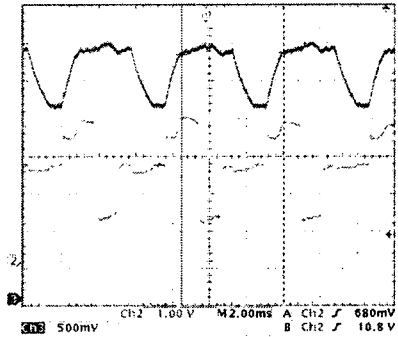


그림 6 Advance 15°

그림 4, 5, 6은 각각 어드밴스 각도를 다르게 하였을 때 상전류 파형과 서치 코일의 유기 전압을 분석한 파형으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 전류 확립구간이 없는 어드밴스 0°에서의 상전류와 10°, 15°의 전류 확립구간을 가진 상전류를 비교해 보면 확립구간이 없는 것의 상전류 형태와 확립구간이 있는 상전류의 형태는 토크 발생구간에서 현저한 차이를 보여주고 있다. 토크 발생구간이 시작되는 점에서 어드밴스 각도 증가에 따라 상전류의 증가분은 급격히 감소한다. 이것은 서치 코일의 유기 전압에서도 그대로 반영된다. 토크 발생구간이 시작되는 점 즉 고정자의 돌극과 회전자의 돌극이 겹치기 시작하는 지점의 위치는 서치 코일의 유기 전압이 증가하다가 일정하게 되는 부분과 일치하는 것을 알 수 있다.

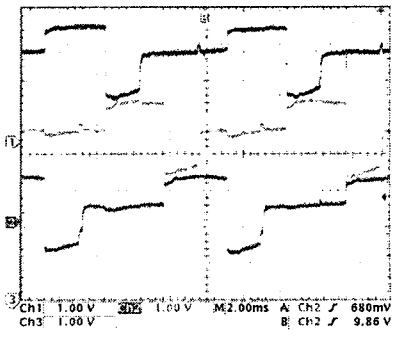


그림 7 인가전압 30V, Advance 5°

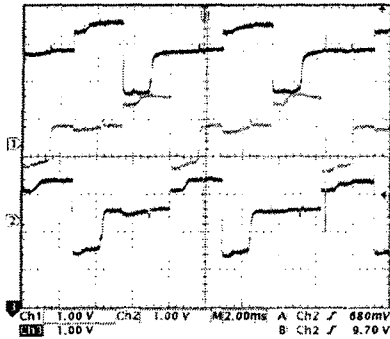


그림 8 인가전압 30V, Advance 10°

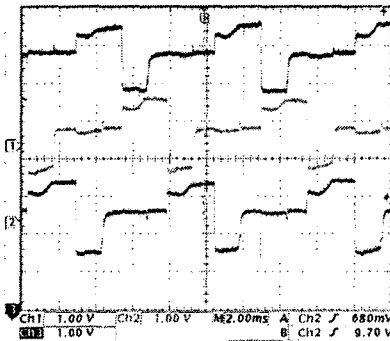


그림 9 인가전압 30V, Advance 15°

그림 7, 8, 9는 엔코더를 이용하여 모터 구동시 인가 전압 30V에서 측정된 무부하에서의 서치 코일의 전압 파형으로, 어드밴스 각도의 차이에 따라 서치 코일의 유기 전압 파형에서 토크 발생구간이 시작되는 지점을 나타내는 그림이다. 6/4 토로이달 SRM을 정상 상태에서 구동시 10°의 어드밴스에서는 전류 확립구간과 토크 발생구간이 시간적으로 1대 2의 비율을 보였고, 15°의 어드밴스에서는 1대 1의 비율을 보였다.

2.3 서치 코일을 이용한 구동 방법

본 논문에서 제안하는 토로이달 SRM의 구동 방법은 서치 코일에서 회전자의 돌극이 고정자의 돌극과 겹치기 시작하는 점의 위치를 알고 현재의 속도를 측정함으로써 ON, OFF 시점을 결정하는 것이다.

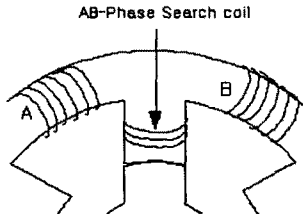


그림 10 AB상의 서치 코일

그림 10은 AB상의 서치 코일을 나타낸다. 토로이달 SRM은 특성상 두상이 여자되어 로터를 회전시키며 A상과 B상 사이의 서치 코일을 AB상 서치 코일이라 명명했다. 그림 11은 서치 코일을 이용한 구동방법을 나타낸다.

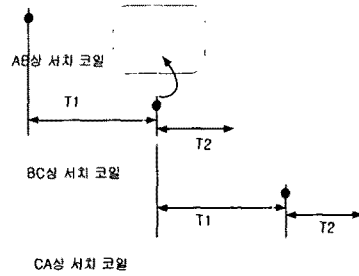


그림 11 서치 코일을 이용한 제어 원리

일정한 어드밴스 각도를 가지고 회전자가 회전할 때 각 서치 코일에서 검출되는 전압 파형은 그림 11의 형태와 같다. 어드밴스 각도가 없는 경우에는 위의 파형처럼 나타나지 않는다. 그리고 서치 코일의 정(+)의 유기 전압이 나타나는 구간이 ON되는 구간을 나타내며, 이 구간에서만 회전자의 위치 정보를 담고 있다. 다른 구간들의 파형 형태는 회전자의 위치와 관계없이 상전류의 영향이 그대로 반영되어 나타난다.

위 11의 그림에서 T1은 이전 상에서의 토크 발생 시작점과 현재 ON되고 있는 상의 토크 발생 시작점을 시간으로 나타낸 값이다. 6/4 SRM의 경우 위치적으로 30°를 나타내고, 30°를 T1으로 나눈 값은 현재의 속도를 가리킨다. T1은 위치적으로 30°를 나타내므로 현재의 속도를 알고(T1의 시간을 알고 있고) 토크 발생구간 시작점을 검출하면 $T2 = \alpha T1$ 의 시간에서 Commutation을 한다. 예를 들어 α 가 2/3의 값이면 토크 발생구간은 20°가 되고 10°의 어드밴스 각도를 갖게된다.

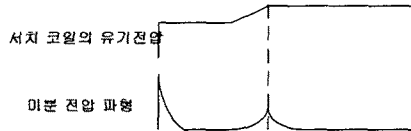


그림 12 서치 코일의 유기 전압 파형과 미분 파형

그림 12는 토크 발생구간 시작점을 검출하기 위한 방법으로 서치 코일의 유기 전압 파형을 미분하였다. 미분 파형에서 알 수 있듯이 피크를 나타내는 부분이 처음 ON되는 시점과 토크 발생구간 시작점, 이 두 점이 나타나는데 두 번째 피크점을 소프트웨어 방법으로 검출하였다.

2.4 실험결과 및 고찰

실험은 Advance 10°에서 이루어졌으며, 결과 비교는 1800RPM에서의 엔코더 구동에 의한 상전류 파형과 서치 코일의 유기 전압 파형, 서치 코일에 의한 구동방법으로 상전류 파형과 서치 코일의 유기 전압 파형을 분석하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 서치 코일이 위치 센서와 같은 기능을 부여하는 것으로 실제 위치 센서와 같은 기능을 할 수 있는 지 관심을 보였다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 서치 코일은 각각의 회전자의 위치를 검출하는 기능은 없다. 그러나 회전자의 돌극과 고정자의 돌극이 겹치기 시작하는 지점은 서치 코일의 유기 전압 파형에서 검출 할 수가 있다. 하나의 특정 지점만을 검출하는 서치 코일로 토로이달 SRM을 구동시킨 결과 엔코더를 이용한 구동과 같은 결과를 보였으며, 그림 13, 14, 15, 16은 그 비교결과를 잘 보여준다.

3. 결 론

본 연구에서는 엔코더를 이용하여 토로이달 SRM을 구동시 유기되는 서치 코일의 전압 파형을 분석하였으며, 분석결과 위치 정보를 담고 있음을 확인하였다. 이를 토대로 엔코더와 같은 위치 검출 센서를 사용하지 않고 고도 각 상의 슬롯에 감긴 서치 코일의 특징지점 검출과 현재의 속도 계산으로 토로이달 SRM을 구동하는 방법을 제안하였다. 본 실험을 통해서 서치 코일을 이용한 SRM 구동방법이 엔코더로 구동시키는 경우와 동일한 결과값을 나타냈음을 증명하였다. 이렇게 서치 코일을 이용한 방법은 기존 위치 검출 센서를 사용했을 때 나타나는 비용의 문제, 내충격의 문제, 사용환경의 문제점들을 해결하고 강인한 특성의 구동장치를 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

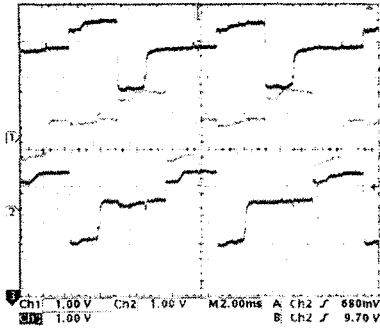


그림 13 엔코더를 이용한 구동시 서치 코일의 전압 파형

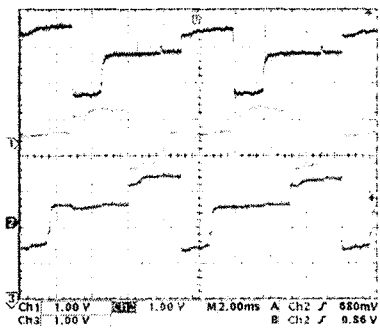


그림 14 서치 코일의 위치 정보를 이용한 구동시 유기 전압 파형

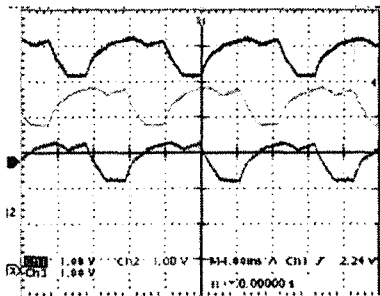


그림 15 엔코더를 이용한 구동시 3상 전류 파형

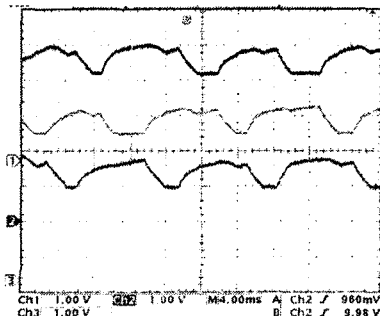


그림 16 서치 코일의 위치 정보를 이용한 구동시 전류 파형

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

(참 고 문 헌)

- [1] B.K. Bose, T.J.E. Miller, P.M. Szezesnyand and W.H. Bocknell. "Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor", IEEE Tr-IA, vol. 22, no. 4, pp. 708-715, 1986
- [2] Ki Bong Kim "Field Analysis of Low Acoustic Noise Switched Reluctance Motor", IEEE Transactions on Magnetics. Vol.33, No.2, pp. 2026-2029, March 1997
- [3] B.W. Williams. "Power Electronics Devices Drivers and Applications", John Wiley & Sons, New York, 1987
- [4] T.J.E. Miller "Switched Reluctance Motors and Their Control". Clarendon Press. 1993
- [5] P.J. Lawrenson. "Switched Reluctance Motors Drives". Electronics & Power, pp.144-147, February 1983
- [6] E. Mese, D. A. Torrey. "Sensorless Position Estimation for Variable Reluctance Machines using Artificial Neural Networks", IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting, pp.540-547, 1997
- [7] S.S. Murthy, B. Sing, V.K. Sharma, "A Frequency Response Method to Estimate Inductance Profile of Switched Reluctance Motor", International Conference on Power Electronics and Drives Systems Proceedings, pp.181-187, 1997
- [8] Jae Dong Choi, "Sensorless speed control of Switched Reluctance Motor using Intelligent Control Algorithm", February 2000