

돌극 관통형 서치코일을 이용한 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출

梁煥烈[†], 任永徹*

Rotor Position Detection of a Toroidal Switched Reluctance Motor Using Interior Central Pole Search Coils

Hyong-Yeol Yang and Young-Cheol Lim

요 약

본 논문에서는 스위치드 릴럭턴스 모터의 새로운 회전자 위치 검출법을 제안한다. 기존의 위치센서의 약점을 보완하기 위해 위치 검출 방법의 저 비용과 강인성에 초점을 두고, 시변 쇄교자속에 의해 TSRM(Toroidal Switched Reluctance Motor) 돌극의 홈에 장착된 서치코일에 유기되는 전압 파형을 이용하여 위치 검출을 시도하였다. 회전자의 위치정보를 포함하고 있는 서치코일에서 유기되는 전압 파형을 이용해 회전자의 특정위치를 검출하고 적절한 상을 여자시킴으로써 SRM을 구동할 수 있게 된다. 실험을 통하여 서치코일만을 이용하여 토로이달 SRM을 구동시킨 결과와 엔코더를 사용하여 구동시킨 결과와 비교함으로써 본 논문에서 제시한 방법의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents a new method of detecting rotor position in Toroidal Switched Reluctance Motor (TSRM). In this paper, low cost and robust characteristics of rotor position detection method are focused in order to compensate for disadvantage of general sensors. Search coils wound through the hole of the stator poles are used for detection of the rotor position in TSRM. Rotor position detection is achieved through electromotive force patterns induced by time-varying flux linkage in the search coils and then adequate phase is excited for drive. The validity of the method is verified by experimental results.

Key Words : Toroidal SRM, Search coil, EMF

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor: SRM)는 간단한 구조, 높은 효율, 높은 동작속도 등의 장점을 가지므로 최근에 전력용 반도체의 기

술이 발전함에 따라 주목받고 있는 전동기라고 할 수 있다^[1].

SRM에 있어서 회전자 위치 정보는 제어 목적을 위한 궤환으로서 필수적이다.

광 인터럽터 혹은 고정밀 엔코더와 같은 축 위치 센서들이 흔히 회전자 위치를 결정하기 위해 사용된다. 그러나 이런 위치 센서들은 복잡성과 소형 모터의 응용에 대해 추가적인 비용을 요구할 뿐 아니라 구동시스템의 신뢰도를 저하시키는 경향이 있다. 또한 자동차나 항공우주분야와 같은 제한된 응용에서, 분리된

[†]교신저자 : 정희원, 전남대 전기공학과 졸업(공학)

E-mail : sfish@chonnam.ac.kr

*정희원, 전남대 전기공학과 교수

접수일자 : 2004. 2. 17 1차 심사 : 2004. 3. 17

2차 심사 : 2004. 7. 20 심사완료 : 2004. 7. 30

위치 센서들은 상당히 바람직하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 여러 가지의 간접 위치 검출구조에 관한 센서리스 제어 결과가 보고 되어지고 또한 연구되고 있다^[2, 6].

그러나 SRM은 간단한 구조에 비해서 회전자 위치에 따른 상인덕턴스의 변화가 정현파가 아니라는 점과 전류 대 토크 발생비가 전류와 회전자의 함수로써 폭넓은 범위에 걸쳐 변한다는 점 등의 비선형적 특성 때문에 SRM의 센서리스 연구에 어려움을 주고 있다^[7].

본 연구는 기존의 위치 센서들의 문제점인 고속 회전의 제약, 고온 고압의 환경에서 신뢰성 저하, 고장시 별도의 보수 필요, 충격에 약한 점 등의 단점을 해결할 수 있는 방법으로 서치 코일을 내장한 SRM을 제안하였다.

실험에 앞서 전자기해석 프로그램인 Maxwell 2DTM(www.ansoft.co.kr 참고)를 사용하여 모든 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에 사용된 TSRM(Toroidal Switched Reluctance Motor)에 장착된 서치코일의 유기전압 파형, 자속분포 등을 검토하였다. 그리고 제안한 위치검출 방법에 대한 가능성을 시뮬레이션을 통해 확인하고 실험을 통해서 제안한 방법의 우수성을 증명하였다.

2. 토로이달 SRM

Toroidal SRM의 구조는 그림 1과 같이 일반적인 SRM의 구조와는 약간 다른 구조로 되어있다. 일반적인 SRM의 경우 코일을 모터의 돌극에 감는 반면 Toroidal SRM은 모터의 요크부분에 감는 구조적인 특징을 가진다. 따라서 일반적인 SRM에서는 하나의 돌극을 여자하기 위해서 한 권선만을 여자시키지만

TSRM에서는 두 권선을 여자하는 2상여자 방식을 취해야 한다. 그러므로 일반적인 SRM이 한 상이 여자되는 구간은 두 배의 전도각을 가지므로 스위칭 횟수

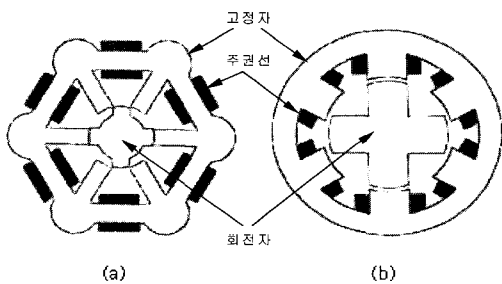


그림 1 (a)토로이달 SRM (b)일반 SRM
Fig. 1 (a)Toroidal SRM (b)Conventional SRM

가 절반으로 줄어들게 된다. 이는 BLDCM(Brushless DC motor)과 매우 유사한 특징을 지닌다^[8].

TSRM에서는 비대칭 인버터뿐만 아니라 풀브리지 인버터를 사용할 수 있으며 스위칭 패턴은 일반 SRM에 비해서 2배 더 커지게 된다.

그림 2는 두 상이 동시에 여자되었을 때 TSRM의 자속분포로서 전자기분석 시뮬레이터인 Maxwell 2DTM를 사용하여 시뮬레이션한 결과이다.

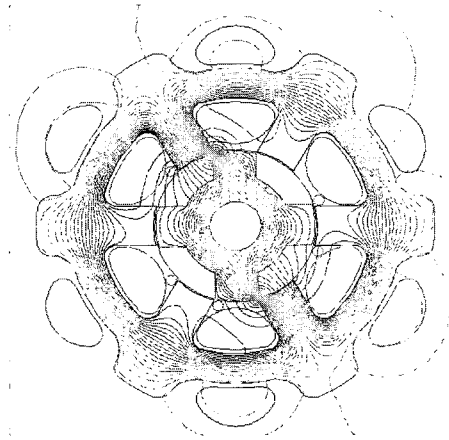


그림 2 TSRM의 자속분포
Fig. 2 Magnetic-flux plot resulting from excitation of the TSRM

TSRM에서 a, b 두 상이 여자되고 있을 경우 토크는 다음과 같이 나타나게 되며 두 상의 전류의 곱과 상호 인덕턴스의 변화에 의해서만 나타나게 된다는 것을 알 수 있다.

$$T_e = i_a i_b \frac{dM_{ab}}{d\theta} \quad (1)$$

3. 서치 코일의 장착

그림 3은 본 논문에서 사용된 6/4 TSRM과 서치 코일을 나타내었다. 돌극 관통 서치코일은 돌극 중앙의 홈을 관통하여 한 돌극당 좌우로 두 개의 코일이 장착되어 있다. 모터의 중심축에서 보았을 경우 중앙 홈을 기준으로 좌측에 감긴 '좌측 돌극 관통 서치코일(sab_L, sbc_L, sca_L)'은 반시계방향으로 구동하기 위한 서치코일이며, 돌극 우측에 장착된 '우측 돌극 관통 서치코일(sab_R, sbc_R, sca_R)'은 시계방향으로 회전시키는 경우에 사용한다. 좌우의 서치코일은 각각 0.16mm, 10턴이 감겨있으며 회전 방향은 다르지만 회전자의 위치를 검출하여 구동하는 원리는 같다.

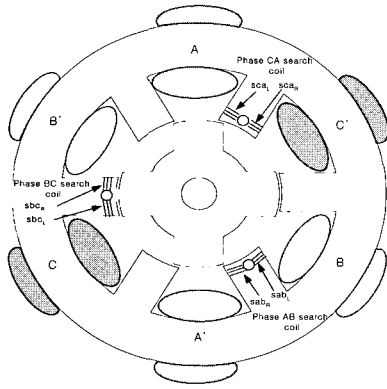


그림 3 TSRM과 장착된 서치코일
Fig. 3 Structure of the TSRM with interior central pole search coils

4. 서치 코일의 파형 분석

그림 4는 Maxwell 2D에 의해 분석된 돌극 관통 서치코일의 회전자 위치에 따른 자속분포를 나타낸다. λ_{sr} 은 우측 돌극 관통 서치코일의 자속, λ_{sl} 은 좌측 돌극 관통 서치코일의 자속을 나타내고 있다.

회전자가 코일이 감긴 부분까지 접근한 후부터 자속이 증가하고 있으며, 회전자와 고정자가 완전히 정렬되어있는 상태에서도 계속해서 증가하고 있는 모습을 보인다. 그리고 회전자가 돌극 관통의 서치코일을 벗어나기 시작하는 시점부터 감소하기 시작한다.

서치 코일에 유기되는 전압 파형은 패러데이 법칙에 따라 상권선의 전류에 의한 시변 쇄교자속과 회전자의 회전 운동으로 인한 상호 인덕턴스의 변화에 의해 생기는 시변 쇄교자속의 합이 서치 코일에 나타나는 전압 파형이다.

시물레이션에 의한 서치코일의 유기전압 파형은 그림 5와 같이 나타나게 된다. 이것은 입력전압 155V, 회전수 1250rpm일 때의 시물레이션 파형이며, Maxwell 2D™를 사용하여 시물레이션 한 결과이다.

서치코일의 유기기전력은 그림 4에서 보는 것처럼 회전자의 위치 정보를 포함한다. 서치코일이 돌극의 중앙에 감겨있으므로 회전자가 돌극의 중앙까지 도달하기 전에는 낮은 전압이 약간 발생하지만, 서치코일의 근처에 도달하면서부터는 서치코일에 쇄교하는 자속이 급격하게 증가하게 되므로 서치코일의 유기기전력이 급상승하게 된다. 그러므로 서치코일 유기전압의 상승값을 관찰하여 회전자의 위치를 추정할 수 있다.

기전력은 식 2에 의해 나타난다. 식 2에서 상전류의 변화에 의한 시변 쇄교자속은 변압기 기전력

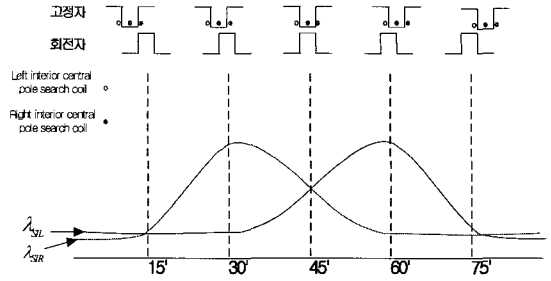


그림 4 회전자 위치에 따른 자속분포
Fig. 4 Fluxlinkage of the interior central pole search coils according to rotor position

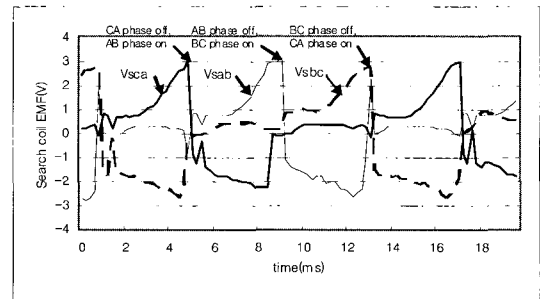


그림 5 서치코일 유기기전력
Fig. 5 Search coil EMFs.

(transformer EMF) 성분이고, 회전자의 회전에 의해 상호 인덕턴스 변화로 발생하는 시변 쇄교자속은 속도 기전력(motional EMF) 성분이다.

$$\begin{aligned}
 e &= -\left(\frac{d\lambda_{as}}{dt} + \frac{d\lambda_{bs}}{dt}\right) \\
 &= -\left(M_{as} \frac{di_a}{dt} + M_{bs} \frac{di_b}{dt} + i_a \frac{dM_{as}}{dt} + i_b \frac{dM_{bs}}{dt}\right) \quad (2) \\
 &= -\left(M_{as} \frac{di_a}{dt} + i_a \omega \frac{dM_{as}}{d\theta} + M_{bs} \frac{di_b}{dt} + i_b \omega \frac{dM_{bs}}{d\theta}\right)
 \end{aligned}$$

$\lambda_{as}, \lambda_{bs}$: A, B상전류에 의해 발생하는 서치코일 쇄교자속

M_{as}, M_{bs} : 주권선과 서치코일의 상호 인덕턴스

i_a, i_b : 여자되고 있는 두개의 상전류

ω : 회전속도

위 식에서 알 수 있듯이 주권선과 서치코일의 상호 인덕턴스와 상전류의 변화율, 상호 인덕턴스의 변화율과 전류 및 회전속도에 의해서 서치코일 유기전압이 결정된다.

회전자가 서치코일의 위치에 왔을 때 가장 큰 변화는 상호인덕턴스가 증가하기 시작하는 것이다. 따라서 식 2에서 변압기 기전력은 전류변화가 적어질 뿐만 아니라 아직 인덕턴스도 최저상태 이므로 낮은 값을 갖지만 속도기전력은 이 부분에서 큰 증가를 보인다. 그러므로 이 부분에서 서치코일의 유기기전력은 급격한 변화를 보이고 이 부분을 검출할 수 있다.

5. 서치 코일 유기기전력의 전처리 과정

서치코일의 유기전압은 AD변환기를 통해 제어기로 입력된다. 입력된 파형은 그림 6에서 보는 것과 같이 서치코일 근처에서 급격하게 상승하게 된다. 따라서 그 부분을 검출하면 회전자의 위치를 추정할 수 있게 된다. 6/4 SRM의 경우 3상이므로 최초 30°일 때 그 점을 검출하게 되며, 매 30°마다 검출하게 된다. 따라서 3개의 상을 모두 검출하면 90° 회전했다는 것을 알 수 있다.

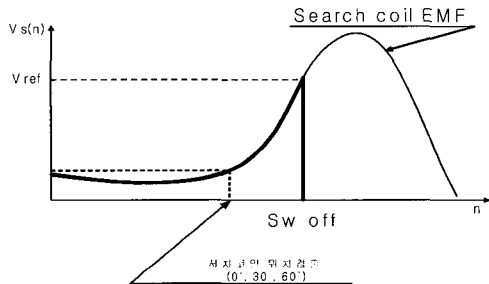


그림 6 회전자 위치검출의 원리
Fig. 6 Principle of the rotor position detection method

그림 7에서와 같이 서치코일 유기전압은 회전자의 위치가 일정한 각도가 되면 약간의 기울기를 가지고 상승하기 시작한다. 하지만 위치검출을 더욱 확실하게 하기 위해서 입력된 파형에 자승을 취한다. 그러면 그림 8에서와 같이 그 기울기가 훨씬 증가하여 위치검출

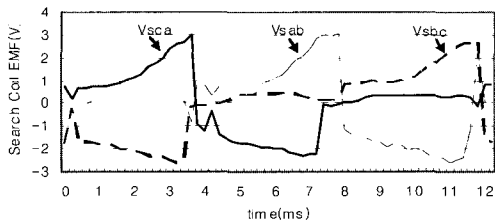


그림 7 서치코일 유기기전력 파형
Fig. 7 Search coil EMF waveforms

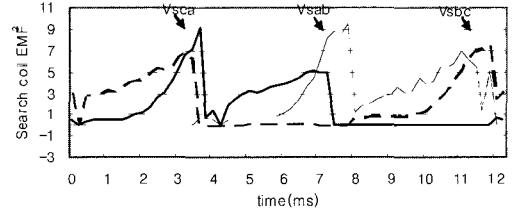


그림 8 서치코일 유기기전력의 제곱 값
Fig. 8 Square of the search coil EMFs

의 오차를 줄일 수 있게 된다. 서치코일의 유기전압이 기준값 이상이 되면 그 위치를 검출하는 방식은 잡음에 민감한 반응을 보이게 된다. 회전자가 서치코일에 도달하기 이전에 기준값 이상의 잡음이 입력되었을 경우 곧바로 그 위치가 서치코일 위치인 것처럼 인식할 가능성이 있는 것이다.

따라서 자승을 취한 서치코일 유기전압의 적분을 통해 보다 잡음에 강한 위치 검출을 가능하게 한다. 그러므로 입력된 서치코일은 다음과 같은 과정을 거쳐 기준전압과 비교하게 된다.

$$Vs' = \int Vs^2 dt \quad (3)$$

그림 9~그림 11에서 똑같은 잡음이 입력되었을 경

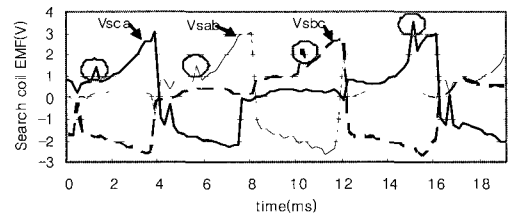


그림 9 잡음이 유입된 경우 서치코일 유기기전력
Fig. 9 Result of the search coil EMFs due to noise

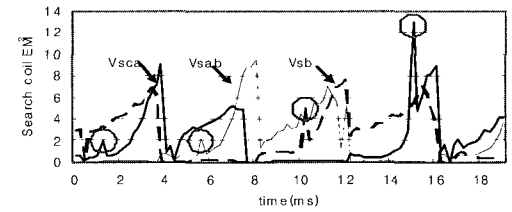


그림 10 잡음이 유입된 경우 서치코일 유기기전력의 제곱 값
Fig. 10 Result of the square of the search coil EMFs due to noise

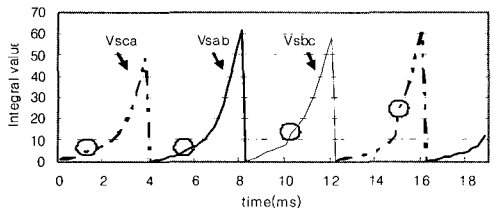


그림 11 잡음이 유입된 경우 서치코일 유기기전력 제공의 적분 값
Fig. 11 Result of the integral of the search coil EMFs due to noise

우 적분을 취했을 경우와 그렇지 않았을 경우 잡음에 대한 민감도를 보여준다. 그림 9는 잡음이 입력된 상태의 서치코일 유기전압을 나타내며, 그림 10은 제공했을 경우, 그림 11은 적분을 취했을 경우를 나타낸다. 그림 9~그림 11로부터 제공을 취했을 경우에는 잡음에 매우 민감한 것을 알 수 있고 적분을 했을 경우에 잡음에 훨씬 강한 것을 알 수 있다. 또한 입력되는 서치코일 유기기전력은 이동평균(moving average)을 취하여 필터링 함으로써 잡음을 제거하고 있다.

6. 적분-최소법(Integral-Minimum Method)

서치코일의 유기전압은 처음에 어떤 값을 가지며 약간 감소했다가 다시 증가하는 추세를 보인다. 따라서 일정한 부분부터 적분을 하기 위해 최소값을 검출하고 그 시점부터 적분을 실시한다. 일단 서치코일의 위치를 파악한 후 off 시점을 결정해야 한다. 서치코일의 검출위치는 30°(회전자와 고정자가 절반 겹친 상태)이므로 여기에서 스위치 오프를 하게 되면 15°의 어드밴스각을 갖게 된다.

따라서 원하는 어드밴스각 θ_{ad} 를 주기 위해서는 $15^\circ - \theta_{ad}$ 만큼 회전한 후에 상전환(commutation)을

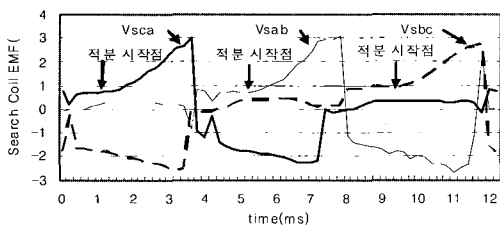


그림 12 서치코일 유기기전력의 최소값 검출
Fig. 12 Detection of the minimum value

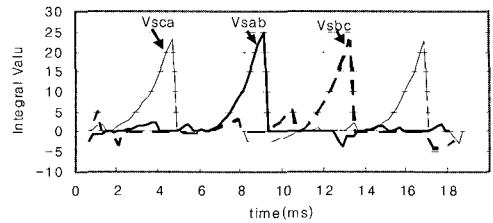


그림 13 서치코일 유기기전력의 적분 값
Fig. 13 Integral of the search coil EMFs

해주어야 한다. 이 위치에서 상전환을 해주려면 식 (5)에서와 같이 n_{ad} 만큼의 인터럽트 주기 경과 후에 상전환이 이루어지도록 하면 된다.

인터럽트 한 주기동안 회전한 각도 θ_{Ts} 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으므로 어드밴스각을 고려한 상전환시점까지의 인터럽트 개수 n_{ad} 는 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$\theta_{Ts} = \frac{360}{60} \times \omega \times T_s \text{ [deg]} \tag{4}$$

T_s : 인터럽트주기[sec]
 ω : 회전속도[rpm]

$$n_{ad} = \frac{60}{360} \times \frac{1}{\omega \cdot T_s} \times (15^\circ - \theta_{ad}) \tag{5}$$

샘플링 주파수는 12kHz 이므로 속도는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{d\theta}{dt} \\ &= \frac{60}{360} \frac{30^\circ}{T_s \cdot n_{INT}} \text{ [rpm]} \\ &= \frac{60000}{n_{INT}} \text{ [rpm]} \end{aligned} \tag{6}$$

n_{INT} : 30도 회전시 인터럽트 개수(샘플링 개수)

7. 초기 기동법

정지 상태의 SRM이나 TSRM을 기동(starting)하기 위해서 초기 회전자의 위치를 반드시 알아야 한다. 초기 회전자의 위치를 알 수 없는 센서리스 구동 방법의 경우 강제 정렬법을 이용해 회전자를 원하는 위치에 놓고 초기 기동을 시키는 경우가 있다. 이런 강제 정

렬의 방법은 정밀제어를 해야 하는 곳이나 역회전이 허용되지 않는 곳에서는 적당하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 초기 기동을 실시한다.

먼저 3개 상을 연속적으로 전류의 확립이 이루어지지 못하는 시간 간격으로 매우 빠르게 스위칭하면서 단일 펄스 전압을 인가하면, 모터는 계속 정지해 있고 전류는 미세하게 인가되어 서치 코일에서는 상호 인덕턴스의 크기 즉 고정자 돌극과 회전자돌극이 겹쳐있는 정도에 따라 3개의 서치 코일에 기전력이 유기되며, 그 크기가 각각 결정된다. 본 논문에서는 약 100μs의 시간간격으로 펄스를 인가한다. TSRM이 3상인 경우 최고값을 먼저 선정하고 나머지 두개 값을 비교하는 방법으로 서치 코일에 유기되는 전압 크기의 순위와 크기 비율을 알면 최초에 여자 시킬 상을 결정할 수 있다. 이때 모터가 정지 상태에 있으므로 서치 코일의 기전력은 식 (7)과 같이 변압기 기전력만 유기된다.

$$e = -(M_{as} \frac{di_a}{dt} + M_{bs} \frac{di_b}{dt}) \quad (7)$$

M_{as}, M_{bs} : 주권선과 서치코일의 상호 인덕턴스
 i_a, i_b : 여자되고 있는 두개의 상전류

그림 14는 TSRM 정지 상태에서 연속적으로 단일 펄스 전압을 인가시 AB상 서치 코일, BC상 서치 코일, CA상 서치 코일에 유기되는 기전력의 파형을 나타낸다. 그림 14에서는 서치 코일의 기전력 크기가 $V_{sca} > V_{sab} > V_{sbc}$ 로 나타나므로 최초 여자 상은 CA상으로 결정되며 처음에 ON을 시켜 초기 기동을 시킨다. 처음에 모터는 오픈루프로 구동하게 되며 기동여자와 정 후에 서치코일에서 유기기전력을 검출하여 계속해서 구동하게 된다.

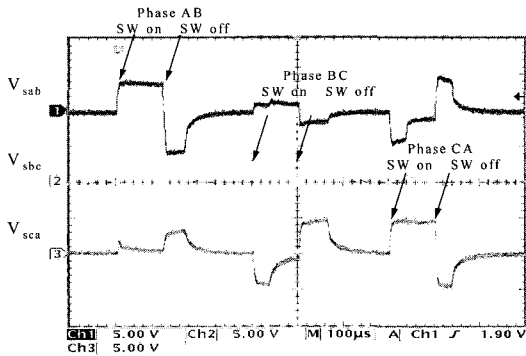


그림 14 초기 기동을 위한 서치 코일 기전력 크기 비교 파형
 Fig. 14 Measured search coil EMFs at standstill to estimate initial rotor position to start the TSRM (5V/div, 100us/div)

8. 전체 시스템의 구성

시스템의 구성은 그림 15와 같다. DSP (TMS320F240)는 주 제어장치로서 입력단자로 디지털 입력, AD변환기를 가지고 있고 이를 통하여 서치코일, 엔코더, 전류 등의 입력을 받아들이며, 출력단자로 12개의 PWM 단자를 가지고 있어서 Inverter에 SRM구동을 위한 on, off 신호를 출력한다. 인터럽트주기 및 샘플링 주기는 12kHz로 동일하다.

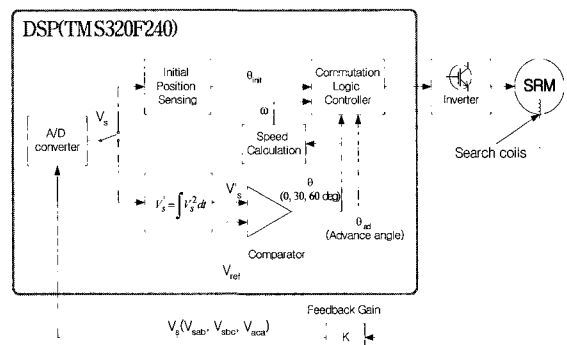


그림 15 전체 시스템 구성도
 Fig. 15 System configuration of the TSRM drive

서치코일은 총 6개가 돌극에 장착되어 있으며, 단방향 구동만 할 경우는 3개의 서치코일만 사용할 수도 있다. GND는 공통으로 묶을 수 있으므로 외부로 연결되는 선의 가닥수를 '상수+1'로 줄일 수 있다.

서치코일에서 유기되는 기전력은 ±10V 범위이며, 컨트롤러의 AD변환기 입력범위인 +5V로 변환되어 입력된다. 이러한 부분은 모터의 정격에 따라서 서치코일의 권선수를 변경하여 조정될 수 있다.

실험에 사용된 SRM의 정격은 다음과 같다.

표 1 시험 모터의 제정수
 Table 1 Parameters of the test motor

정격 출력	1kW
정격 전압	300V
정격 속도	3600rpm
고정자 극수 및 극호각	6극, 31도
회전자 극수 및 극호각	4극, 30.5도
고정자 외경	118mm
회전자 외경	72mm
에어갭	0.25mm
상당 권수	235회

9. 실험결과 및 고찰

그림 16에서 기동시의 서치코일 유기기전력과 속도 파형을 보여주고 있다. 먼저 펄스를 인가하여 회전자의 위치를 파악하고 어느 상을 여자 시킬 것인지 결정한다. 그리고 약 80ms 동안 70%의 듀티비를 가지는 펄스를 인가하여 최초 상에 정렬시키고 곧바로 오픈루프로 구동하여 회전속도가 약 200rpm에 이르게 되면 서치코일 유기기전력을 검출하여 구동하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 10회(300°회전)의 오픈루프 스위칭 후에 서치코일 기전력 검출로 기동하고 있다. 그림 17에서 오픈루프 구동구간의 서치코일 유기기전력을 보여주고 있다.

정상상태의 서치코일과 상전류, 선간전압 파형을 그림 18에서 보이고 있으며 서치코일을 이용하여 구동시켰을 경우 정상적으로 동작함을 보여주고 있다.

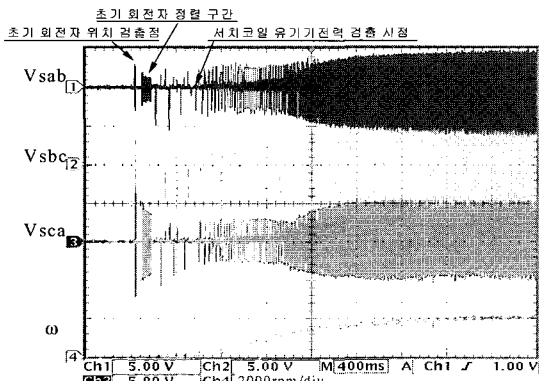


그림 16 기동시의 서치코일 유기기전력
Fig. 16 Search coil EMFs during start-up

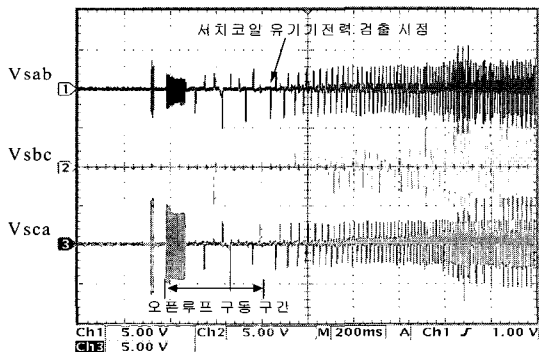


그림 17 오픈루프 구간의 서치코일 유기기전력
Fig. 17 Search coil EMFs during open-loop drive

엔코더로 구동했을 경우(그림 19)와 서치코일로 구

동했을 경우(그림 20)의 서치코일 유기기전력을 비교해 보면 거의 같은 파형을 나타내고 있음을 알 수 있고, 엔코더를 사용하지 않고 서치코일만을 이용해서 구동하는 것이 가능하다는 것을 보여준다.

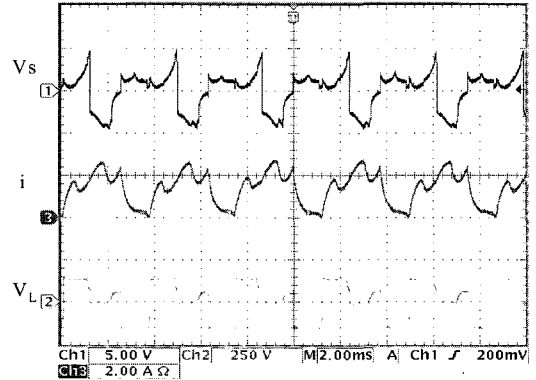


그림 18 서치코일의 유기기전력, 전류, 전압 파형
Fig. 18 Search coil EMF, current and line voltage at steady state

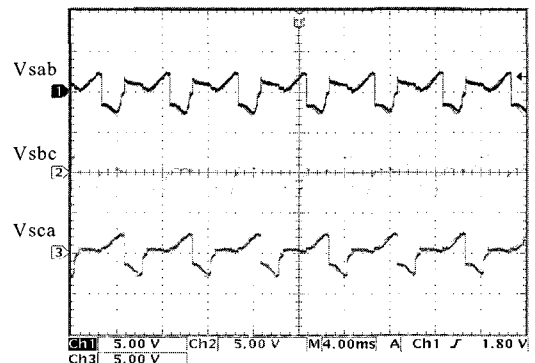


그림 19 엔코더 이용 구동시 서치코일 유기기전력
Fig. 19 Search coil EMFs using encoder

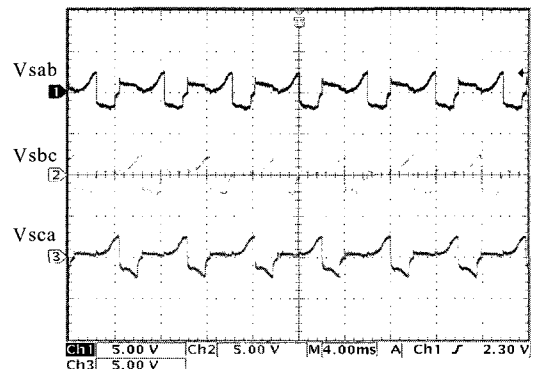


그림 20 제안된 방법에 의한 서치코일 유기기전력
Fig. 20 Search coil EMFs using proposed method

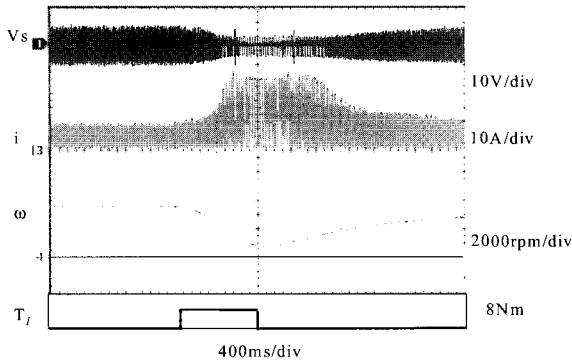


그림 21 부하 인가시 제안된 방법의 성능
Fig. 21 Performance of the proposed method during load change

그림 21에서는 서치코일을 이용하여 모터를 구동할 경우에 부하에도 매우 강한 특징을 가지고 있다는 것을 실험파형을 통해 증명하였다. 약 3000rpm에서 500rpm까지 속도가 떨어졌음에도 불구하고 부하가 제거되는 순간 다시 속도가 증가하고 있으며, 제안된 방법이 부하에도 매우 강인하다는 것을 알 수 있다.

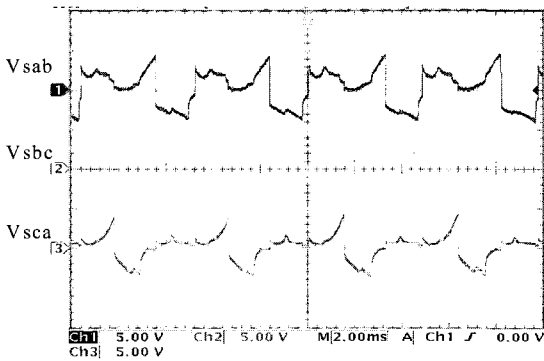


그림 22 역방향 구동시 서치코일 유기기전력
Fig. 22 Search coil EMFs during reverse drive

돌극 관통 서치코일은 돌극 중앙의 홀을 중심으로 양쪽으로 감겨있으므로 하나의 서치코일로 보면 비대칭이다. 따라서 두 개의 서치코일을 모두 사용해야 양방향 구동이 가능하다.

정방향 구동 시는 우측 돌극 서치코일을 사용하고 역방향 구동 시는 좌측 돌극 서치코일을 사용한다. 만약 적용될 어플리케이션이 팬과 같은 단방향 구동용이라면 어느 한쪽의 서치코일만 장착하여 사용해도 무방하다. 두 개의 서치코일을 모두 장착하는 것은 양방향 구동이 필요한 곳에 적용하기 위해서다.

서치코일 유기 기전력을 보면 정방향 구동 시와 파

형은 같으나 여자시키는 순서만 바뀐다는 것을 알 수 있다.

그림 22에 역방향 구동시의 서치코일 유기 기전력을 보여주고 있다.

제안된 방법은 저속에서 뿐만 아니라 고속에서도 우수한 성능을 보여준다. 그림 23은 10000rpm으로 회전시의 서치코일 유기전압 파형 및 전류파형이다. 이 경우에 엔코더는 장치에서 제거된다. 돌극 관통 서치코일을 이용한 구동이 고속에서도 가능하다는 것을 실험을 통해서 알 수 있고, 이는 SRM 회전자의 위치 센서로서 서치코일을 이용하여 적용분야를 확대할 수 있다는 것을 의미한다.

10. 결 론

본 연구에서는 서치코일을 이용하여 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터(Toroidal Switched Reluctance Motor: TSRM)의 회전자 위치추정 방법을 제안하였다.

서치코일을 이용하여 위치를 추정하기 위해서 회전자의 위치에 따른 모터내부 자속의 변화를 감지하여 거기에서 회전자의 위치정보를 얻어내는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 적분-최소법을 이용하여 회전자의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다.

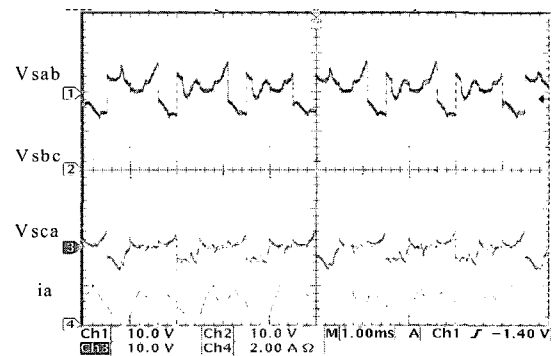


그림 23 고속 회전(10000rpm)시 서치코일 유기기전력 및 전류파형
Fig. 23 Performance of the proposed method at high speed(10000rpm)

실험에 앞서 전자기해석 프로그램인 Maxwell 2D™로 시뮬레이션을 수행하여 실험에 사용된 TSRM (Toroidal Switched Reluctance Motor)에서의 서치코일 유기전압 파형, 자속분포 등을 검토하였다. 그리고 실험을 통하여 부하에 강인한 구동이 가능함을 보여

본 논문에서 제안하는 방법의 우수성을 입증하였다.

또한 제안한 방법에 대하여 10000rpm 이상의 고속 운전이 가능함을 보임으로써 서치코일을 이용한 제안한 방법의 적용 분야가 넓어질 수 있다는 것을 보여주었다.

이렇게 서치 코일을 이용한 구동 방법은 기존 위치 검출 센서를 사용했을 때 나타나는 비용의 문제뿐만 아니라 내충격의 문제, 속도 제약의 문제, 사용 환경의 문제, 모터의 부피증가 문제 등을 해결함으로써 강인한 특성의 구동장치를 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안한 방법은 진동, 고온, 고압 등으로 인해 기존의 위치 센서가 사용되기 어려운 특수한 환경에서는 많은 각광을 받을 것으로 기대되며, 위와 같은 많은 장점을 가지고 있으므로 SRM의 소형화, 저가형 SRM 상품화에 크게 기여할 것으로 보인다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어 2001.1.
- [2] H. Gao, F. R. Salmasi, M. Ehsani, "Sensorless control of SRM at standstill", *Sixteenth Ann. IEEE Applied Power Electr. Conf. and Exposition*, Vol. 2, pp. 850~856, March 2001.
- [3] A. Bellini, F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni and P. Vas, "Position sensorless control of a SRM drive using ANN-techniques", *The Thirty-Third IAS Ann. Mtg. Ind. Appl. Conf.*, Vol. 1, pp. 709~714, Oct. 1998.
- [4] P. Jinupun and P. Chi-Kwong Luk, "Direct torque control for sensorless switched reluctance motor drives", *Seventh Int. Conf. on (IEE Conf. Publ. No. 456) Power Electr. and Variable Speed Drives*, pp. 329~334, Sept. 1998.
- [5] 안진우, 박성준, 김태형, "SRM의 센서리스 제어를 위한 인덕턴스 추론기법", *전력전자학회 논문지*, 제8권, 제 5호, pp. 427~434, 2003.
- [6] 김민희, 백원식, 이상석, 박찬규, "신경회로망을 이용한 위치센서 없는 스위치드 릴럭턴스 전동기의 제어시스템", *전력전자학회 논문지*, 제 9권, 제 3호, pp. 246~252, 2004.
- [7] S. S. Murthy, B. Sing, V. K. Sharma "A frequency response method to estimate inductance profile of switched reluctance motor", *International Conf. on Power Electr. and Drives Systems Proc.*, pp. 181~187, 1997.
- [8] Kim Ki-Bong, "Toroidal Switched Reluctance Motor

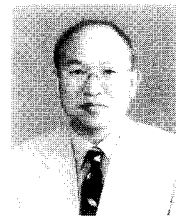
part 1. fundamentals", *Korea-Germany symposium 11*, pp. 135~141, 1998.

저 자 소 개



양형열(梁煥烈)

1969년 5월 27일생. 1993년 전남대 전기공학과 졸업. 1993년~1994년 현대자동차(주) 근무. 1998년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 졸업(공학박). 현재 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자부품 및 시스템연구센터 연구원.



임영철(任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년 호주 모나시 대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장.

고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장.