

펄스 전압 방식의 센서리스 스위치드 릴렉턴스 전동기

문지우, 원진국, 손동혁, 김병국, 조윤현
동아대학교 전기공학과

Sensorless Switched-reluctance motor using impressed voltage pulse

Ji-woo Mon, Jin-kuk Won, Dong-hyuk Son, Byong-kuk Kim, Yun-hyun Cho
Electrical Engineering, Dong-A University

Abstract - Switched-reluctance motor(SRM) has advantages such as simple structure, low cost and so on compared with induction motor. This paper proposes a new sensorless method that is based on the impressed voltage pulse method to estimate rotor position. Current sensors detect the SRM currents in the unenergised phases and output the voltage. The rotor position can be inferred by the above calculations when the peak values exceed a fixed threshold value.

1. 서 론

전기기계적 에너지 변환기계에는 공극에서 일정 여자에 의한 상호토오크 방식과 기변여자에 의한 릴렉턴스 토오크 방식이 있다. 전자는 대부분 동력용 전기기계에서 후자는 소형기계에서 단순 토오크를 이용하는 기계에 이용되고 있다. 최근 전동력 용융범위의 확대, 전력전자기술의 발전으로 이러한 스위칭 여자에 의한 릴렉턴스 토오크 전동기가 동력용으로도 이용되고 있다.

Switched Reluctance Motor(SRM)은 릴렉턴스 토오크를 극대화하기 위해 회전자와 고정자가 모두 돌극형의 구조를 가지며 권선은 고정자에만 접중권으로 감겨 있어 전자계 구조상 단속적인 여자 전원이 각 상 권선에 순차적으로 인가되어 구동되므로 낮은 스위칭 주파수로도 운전이 가능하여 고속운전이 가능한 장점을 갖고 있다.[1] 리졸버(resolver) 및 광학 엔코더, 홀 센서, 포토 센서 등의 위치 검출센서가 부착되어진 SRM은 가격 및 크기를 증가시키고, 전동기 구조를 복잡하게 할 뿐만 아니라 주변 온도나 습도 등 작동 환경에 제한을 받는다.

본 논문에서는 위치 검출 센서없이 SRM을 운전하기 위한 Sensorless 구동방법을 연구하고자 한다. 일반적인 SRM 센서리스 구동을 위한 방법으로 회전자의 위치에 따른 인덕턴스 프로파일을 LOOK-UP 테이블로 구성하여 전류변화에 따른 인덕턴스를 유도하고, 이를 바탕으로 회전자의 위치를 검출한다. 이때 인덕턴스 프로파일은 비선형적으로 변화하게 되고 이를 처리하기 위해서는 고성능의 마이크로프로세서가 필요하게 된다. 본 논문에서는 비 여자상의 임펄스 신호의 크기를 이용하여 회전자의 위치를 검출하는 방식을 이용, 회전자의 위치에 의한 임펄스 신호의 기준 크기를 측정하고 실제 구동 시 임펄스 신호의 크기와 기준응답 크기를 비교하여 회전자의 절대위치를 파악하는 방식이다. 이 방식의 경우 별도의 인덕턴스 프로파일의 LOOK-UP 테이블이 필요 없으므로 알고리즘 구현이 단순하다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 센서없이 비 여자상의 임펄스 신호 크기에 따른 센서리스 구동방식의 타당성을 입증하기 위한

이론 검토 및 시뮬레이션을 통한 타당성을 입증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 SRM의 토오크 발생

SRM의 토오크식을 구하기 위한 coenergy W_c' 식에 대해 알아보면 식(1)과 같다.

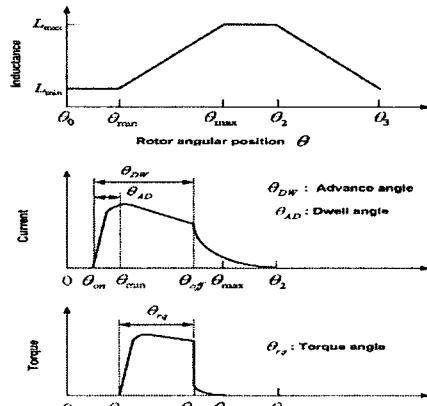
$$W_c' = \frac{1}{2} i^2 \cdot L \quad (1)$$

(i = 상권선의 전류, L = 인덕턴스)

한 상의 토오크 T_e 는 회전자의 위치각 θ 에 대한 coenergy의 편미분항으로써 식 (2)와 같다.

$$T_e = \frac{\partial W_c'}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (2)$$

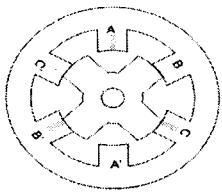
상 인덕턴스는 회전자 극이 고정자 극에 따라 일치할 때, 즉 정렬 위치에 있을 때 최대값이 되고 비정렬 일 때 최소값이 된다. 그럼 1에서와 같이 최적의 토오크를 생성하기 위해서는 상전류는 상승 인덕턴스 주기에 앞서 스위칭 되고, 전류가 완전히 감소하도록 하기 위해 즉, 부 토오크의 발생방지를 위해서 인덕턴스 감소 주기 앞서 스위칭 오프한다.[2]



<그림 1>스위칭 여자에 의한 전류, 토오크

그러므로 부토오크 발생을 방지하고 효과적인 전동 토오크를 얻기 위해서는 반드시 회전자의 위치각에 대한

정보를 얻어서 연속적인



<그림 2> 6/4극 SRM

스위칭 여자를 하는 것이 필요하다. 그럼 2에서는 3상 6/4극 SRM의 각 상에 스위칭 여자전류를 흘르게 함으로써 이상적인 축토오크를 발생시키는 3상 스위칭 여자를 한다. 각 상의 여자전류에 의하여 발생되는 토오크들의 합으로써 출력 토오크를 생성하게 되고, 3상 출력 토오크 T_{total} 은 다음과 같다.

$$T_{total} = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{dL(\theta - 30^\circ)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{dL(\theta - 60^\circ)}{d\theta}$$

2.2 센서리스 구동 방식

2.2.1 기존의 센서리스 제어

① 인덕턴스법 - 상권선의 여자에 의해 인덕턴스 검출 방식으로 시정수가 비교적 큰 편으로 고속운전에서 어려움이 있고 고정자와 회전자가 일치되면 포화로 인한 많은 전류가 흐를 수 있는 단점이 있다.

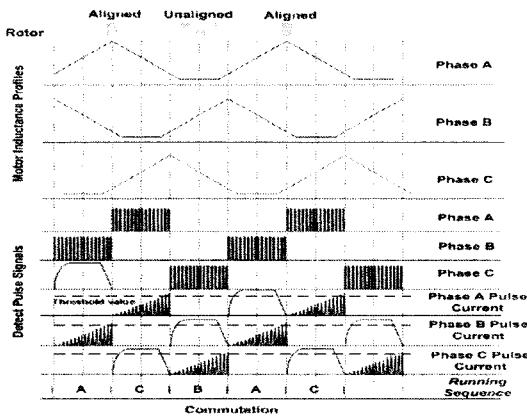
② 주파수 변조법 - 임피던스 검출법에 비해 주파수가 높고 전류의 소멸시간이 상대적으로 짧게 할 수 있으므로 고속운전에 적용가능하다.

③ 자속/전류 검출 방식 - 상전류와 상 전압만으로 위치 추정이 가능하지만 회로구성 시 적분 연산이나 프로세서의 적분 연산이 있어 표류전류와 수치에러가 발생하게 되어 신뢰성이 떨어진다.

④ 상대 관측기 - 정확한 파라미터(Parameter)가 요구되어지고 그 값을 얻기가 매우 어렵다.

2.2.2 제안된 센서리스 제어

센서리스에서 회전자 위치를 검출하기 위한 가장 기본적인 방법은 인덕턴스 프로파일을 얻고 이를 이용하는 방법이다. 본 논문에서는 펄스 방식의 전압을 인가하여



<그림 3> 각 상 Inductance profiles과 Detect Pulse signals

회전자의 위치를 검출하는 방식의 센서리스 SRM에 대해 연구한다. 그림 3에서와 같이 인덕턴스가 감소하는 부분의 비 여자상에 펄스형태의 전압을 인가하여 전류

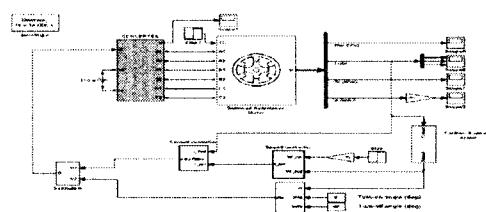
센서를 통한 전류레벨을 측정한다. 측정된 전류 레벨은 적절한 문턱 전류를 산정하여 이 기준 응답 특성 값을 넘어서는 순간의 다음 상을 여자 시켜준다.

고속 운전 시에는 펄스 전압 신호는 고정된 기준 응답 특성 값을 초과하는 시간이 저속에 비해서 빨라져 최적화 된 여자를 시킬 수가 없어 속도가 감소하는 원인이 된다.[3]

2.3 시뮬레이션 결과

<표 1> SRM parameter

정격 사양 및 정수	수치
정격 용량	2.2[KW]
정격 전압	AC220[V]
정격 전류	8[A]
정격 속도	3600[rpm]
고정자 극수	6극
회전자 극수	4극

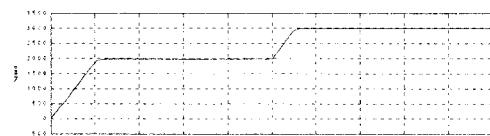


<그림 4> Sensorless SRM Matlab/Simulink Model

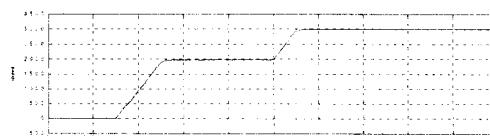
초기 회전자 절대 위치 검출을 위해 초기 속도지령 후 0.01[s]후 임펄스 신호를 인가하고 그에 대응하는 전류 응답특성을 검출, 초기 회전자의 위치를 파악하였다. SRM의 파라미터는 센서 부착형 SRM과 동일한 파라미터를 사용하였다.

그림 5와 6에서는 속도응답특성에 대해 나타내었다. 정지 상태에서의 2000[rpm] 지령 후, 0.07[s]후 3000[rpm]의 속도를 지령하였다. 그림 5의 속도응답 특성과 달리 그림 6의 센서리스에서 초기 구동 시 회전자의 위치검출을 위해 지령속도는 0.03[s]에서 초기 속도 지령을 실시하였다. 초기 속도는 약 0.01[s]후 도달하고 2차 지령치 3000[rpm]에 약 0.01[s]후 도달하는 것을 볼 수 있다. SRM의 속도제어기로는 전동기의 속도 제어기로 널리 사용되고 있는 PI 속도 제어기를 사용하였다.

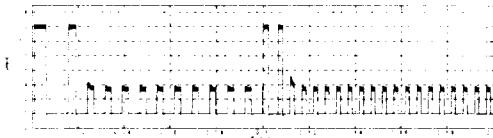
그림 7과 8에서는 속도 응답 특성에 따른 센서 부착형 SRM 모델과 센서리스 구동을 위한 SRM 모델의 전류



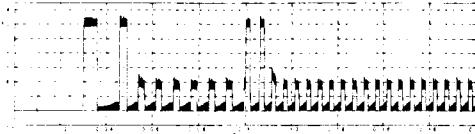
<그림 5> 센서 부착형 SRM의 속도응답특성



<그림 6> 센서리스 SRM의 속도응답특성



<그림 7> 센서 부착형 SRM의 상전류



<그림 8> 임펄스 신호에 따른 상전류

응답특성을 비교하였다. 그림 8에서 초기 기동시 임펄스 신호에 따른 측정되어진 값으로 초기 절대 위치 검출을 한다. 초기 절대 위치 검출에 따른 스위칭을 하며 약 0.8[A]에서 센서리스 SRM 운전시에 기준 응답특성으로 사용하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 일정한 크기의 임펄스 신호를 비 여자상에 발생시켜 인덕턴스 변화에 따른 전류의 크기를 검출하여 회전자의 절대 위치를 검출하는 방법에 대해 연구하였다. 비 여자상에 임펄스 신호를 인가하여 전류를 측정하고 기준 응답 특성과 비교하여 회전자의 절대 위치를 검출하였다. 다른 센서리스 SRM 구동방식에 비해 간단할 뿐만 아니라 검출 속도로 다른 센서리스 보다 빨리 처리할 수 있고 인덕턴스를 구하기 위한 별도의 LOOK-UP 테이블이 필요 없어 연산 수행이 간단해진다는 이점이 있다.

본 논문에서 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해서 본 논문에서 제안한 센서리스 SRM 전동기와 센서부착형 SRM 전동기에 대하여 각각 속도제어 시뮬레이션을 실시하고 결과를 비교 분석하여 그 타당성을 입증하였다. 하지만 고속 운전 시에는 최적화된 스위칭을 할 수 없는 단점이 있다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사 전력기반조성사업센터에서 지원한 전력변환시스템 신기술 연구센터의 사업으로 수행되었음.

【참 고 문 헌】

- [1] 스위치드 헬릭턴스 전동기 구동과 응용, 신지서원, 안진우·황영문 지음
- [2] 이인재, “DSP를 이용한 Switched Reluctance Motor의 속도제어에 관한 연구”, 동아대, 2006
- [3] C.-H. Yu, T.-C. Chen, “Novel sensorless driving method of SRM with external rotor using impressed voltage pulse”, IEE Proc.-Electr.Power Appl., vol.153, No.5, 632-641, 2006