

동작센서를 단순화한 SRM drive에 관한 연구

°오석규*, 안진우**, 황영문*
* 부산대학교, ** 경성대학교

Study on SRM drive with simplified operating sensing device

°SeokGyu OH*, JinWoo AHN**, YoungMoon HWANG*
* Pusan National Univ., ** KyungSung Univ.

Abstract

Shaft position sensing is essential in Switched Reluctance Motor(SRM) in order to synchronize the phase excitation pulses to the rotor position. In low cost application, particularly at low power level, the shaft position sensor is too costly. This paper describes low cost SRM drive system that can control torque and speed utilizing a optointerrupter with slotted disc. The validity of the proposed scheme is verified by experimental results for 6/4 SRM drive system.

1. 서론

SRM은 비교적 간단한 제어장치에 의해 직전직류전동기의 속도-토크특성을 가지고 있다.^[1] SRM은 이중돌극형 VRM과 회전자의 위치에 따라 스위칭전압을 인가하는 switching inverter로 이루어져 있다. 회전자 위치검출에는 shaft position sensor, absolute encoder, incremental encoder 등이 사용된다.

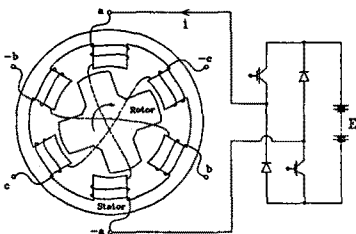


그림 1 6/4극 이중돌극형 SRM drive system

그러나 low cost application, 특히 low power level에서는 위치검출센서가 상대적으로 비싸 이를 없애거나 값싸고 간단한 센서로 대체할 수 있는 구동방식에 대한 연구가 활발히 연구되고 있다. 이런 예로는 open-loop system, current-sensing system, DC-link current sensing system 등이 있다.^{[2][3][4]}

open-loop system은 회전자 위치에 관계없이 고정자권선에 dwell angle이 일정한 스위칭 펄스를 인가하며 스위칭 펄스의 주파수가 모터의 속도를 결정한다. 그러나 효율이 나쁘고 강인하지 못하다.

current-sensing system은 여자되고 있지 않는 한상에 전류를 인가하여 인덕턴스 프로필을 검출함으로써 회전자의 위치를 알 수 있는 시스템으로써 인덕턴스 프로필을 검출하기 위해 부가적으로 스위칭 소자와 회로가 추가된다.

DC-link current sensing system은 DC-link단 전류를 검출하여 dwell angle을 제어하는 방식으로 속도제어가 어렵다.

본 논문에서는 간단한 slotted disc를 가진 optointerrupter를 사용하여 부하에 따른 토크제어와 속도제어가 용이하고 간단한 analog회로만으로 구성된 저가의 시스템을 제안하고 그 방식의 타당성을 실험을 통해 입증하였다.

2. Dwell angle에 의한 토크 제어

SRM의 발생토크는 자기저항을 최소화시키는 방향으로 작용하며 식(1)과 같다.

$$T(\theta, i) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad (1)$$

여기서, i : 상전류

L(θ, i) : 회전자위치에 따른 인덕턴스

토크, T(θ, i)는 식(1)에서와 같이 전류의 제곱에 비례하므로 전류의 방향과 무관하며 인덕턴스의 기울기에 비례한다. 따라서 제어하는 switch-on, off각과 dwell angle에 따라 크기가 달라진다.

shaft position sensor를 사용하는 경우 직접적으로 switch-on, off 각을 제어하지만 sensorless 시스템이나 본 논문에서와 같이 한 개의 optointerrupter를 사용하여서 회전자의 절대위치를 알기 어려운 경우 간접적으로 dwell angle을 제어한다.

그림 2는 한 상에 대한 인덕턴스 프로필과 상전류파형을 보여주고 있다. 여기서 θ_{on}는 switch-on, θ_{off}에서 switch-off, θ_{off}의 사이각, 즉 dwell angle이며 θ_h는 고정자와 회전자가 정렬된 부분부터 switch-off까지의 구간이다. 또한 torque

margin은 pull-out torque와 부하의 차이값으로 각각 정의한다.

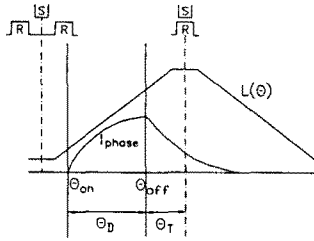


그림 2 인덕턴스 프로파일과 상전류파형

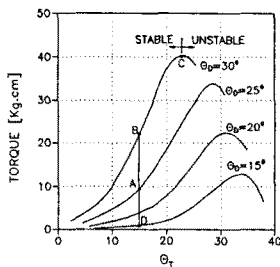


그림 3 dwell angle, θ_0 에 대한 θ_r 와 토오크

그림 3은 일정한 dwell angle, θ_0 에 대한 θ_r 의 관계를 나타내고 있다. 일정한 dwell angle, θ_0 에서 부하가 증가함에 따라 pull-out torque까지 토오크가 증가하다가 pull-out torque 이상에서는 탈조하게 된다. 따라서 토오크 측면에서 보면 dwell angle, θ_0 이 넓을수록 pull-out torque가 커서 안정성이 좋으나 효율은 나빠진다. 부하가 10kg.cm로 같을 때 dwell angle 15°가 25°보다 pull-out torque는 작으나 효율은 약 15%정도 좋다. 따라서 효율과 토오크를 다 만족하는 제어를 하기가 어려워 적절한 타협점을 찾아 switch-off각을 고정하여 dwell angle, θ_0 를 제어하는 방식을 채택하였다. switch-off신호는 회전자에 고정된 slotted disc에서 얻으므로써 고정할 수 있다.

그림 3에서 모터가 A 점에서 동작할 때 부하가 증가하면 증가한 부하와 같은 토오크를 낼 수 있도록 dwell angle, θ_0 이 커져 θ_r 가 고정된 A → B 선상을 따라 이동하고 B 점 이상은 최대 dwell angle, θ_0 값인 30°로 pull-out torque까지 토오크가 증가한다. 부하가 감소할 때는 A → D 선을 따라 dwell angle, θ_0 이 감소한다.

속도는 속도지령신호에 의해 발생하는 사각파의 속도지령 주파수에 의해 결정되고 이 사각파의 positive-edge신호를 switch-on신호로 사용하였다.

그림 4는 일정속도에서 부하의 변동에 따른 dwell angle의 변화를 보여주고 있다.

그림 4(a)는 부하와 발생토오크가 평형을 이루는 dwell angle이 결정된 운전상태를 나타내고 있다.(그림 3의 A 점에 해당한다.)

그림 4(b)는 부하가 감소하였을 때 dwell angle을 나타낸 것이다.(그림 3의 A → D에 해당한다.) 부하가 감소함에 따라 그림 4(a)의 dwell angle에서 발생하는 토오크가 부하보다 많

으므로 회전자 속도가 빨라져 회전자에 고정된 switch-off신호가 화살표방향으로 앞당겨지게 되어 dwell angle이 작아진다. 이 때 발생하는 토오크가 부하와 일치하는 dwell angle에서 안정되게 동작한다. 절선은 부하가 변하기 전인 그림 4(a)의 회전자 위치를 나타내며 switch-on신호는 속도지령주파수에 의해 정해지므로 변하지 않고 회전자 속도의 변화와 함께 switch-off신호만 앞으로 당겨진다.

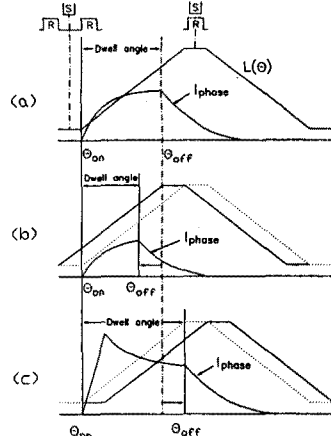


그림 4 부하에 따른 dwell angle

- (a) 운전상태
- (b) 부하가 감소할 때
- (c) 부하가 증가할 때

그림 4(c)는 부하가 증가하였을 때 dwell angle을 나타낸 것이다.(그림 3의 A → B에 해당한다.) 부하가 증가함에 따라 회전자 속도가 느려져 dwell angle이 커지고 발생토오크도 커진다. 부하와 커진 토오크가 평형을 이루는 dwell angle에서 안정되게 동작한다.

속도가변의 경우는 앞서 부하가변과 달리 switch-on신호가 이동하여 dwell angle을 제어한다. 가속일 경우 switch-on신호가 앞으로 이동하여 dwell angle이 넓어진다. dwell angle이 넓어진 만큼 토오크가 더 발생하여 회전자 속도를 가속시켜 속도지령을 따라간다.

3. 제어시스템의 구성 및 실험

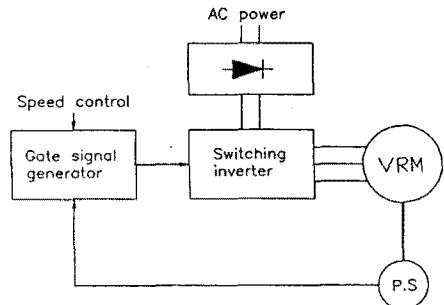


그림 5 SRM 구동 시스템

그림 5는 실험에 사용된 SRM 구동시스템이다.

Shaft position sensor는 일반적으로 회전자 위치각을 얻는데 사용되는 encoder를 사용하지 않고 상대적으로 값이 싸고 간단한 slotted disc를 가진 optointerrupter를 사용하였고 이 slotted disc에서 switch-off신호를 얻기 위하여 6/4 SRM의 경우 한 바퀴회전에 12번을 여자함으로 12개의 펄스가 발생하도록 만들었다. 그림 6은 이 때 사용한 slotted disc를 가진 optointerrupter이다.

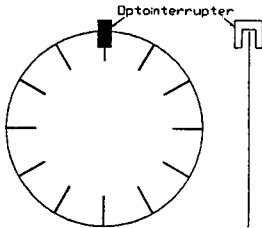
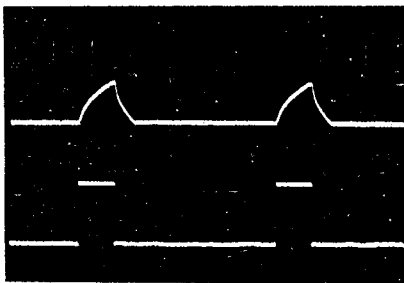


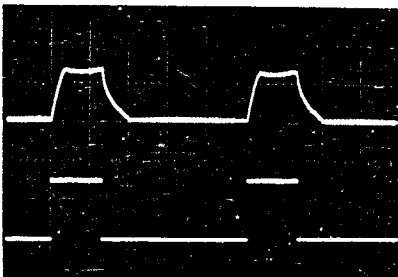
그림 6 slotted disc를 가진 optointerrupter

그림 5의 gate signal generator는 일반적으로 사용되는 Micro-processor나 digital 회로를 사용하지 않고 간단한 analog 회로만으로 구성하였다.

그림 7(a)는 1500 rpm에서 부하 5 Kg.cm일때의 전류파형과 Gate signal이다. 그림 7(b)는 부하를 10 Kg.cm로 증가시켰을 때의 전류파형과 Gate signal로써 dwell angle이 늘어났음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7 전류파형과 Gate signal

(a) 1500 rpm, 5 Kg.cm

(b) 1500 rpm, 10 Kg.cm

4. 결론

SRM은 구조가 간단하여 제작생산성이 좋고 속도-토크 특성이 우수한 전동기구조를 가지고 있으나 회전자위치센서를 필요로 함으로 저가, 저출력의 적용에 있어서 상대적으로 불리하다.

본 논문에서는 간단하고 값싼 slotted disc를 가진 optointerrupter를 사용하여 토크제어와 속도제어가 가능한 저가의 시스템을 제안하였다. 과도상태나 과부하시 회전자 속도변화를 이용하여 dwell angle을 제어함으로써 토크 및 속도제어를 실현하였다.

참고문헌

- [1] P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkison, J.Corda, and N.N.Fulton, "Variable speed reluctance motors," IEE vol.127, pt.B, no.4, pp.253-265, July 1980
- [2] J.T.Bass, M.Ehsani, and T.J.E.Miller, "Robust torque control of switched reluctance motors without a shaft position sensor," IEEE trans. IE, vol.IE-33, no.3, pp.212-216, Aug. 1986
- [3] M.Ehsani, I.Husain, A.B.Kulkarni, "Elimination of discrete position sensor and current sensor in switched reluctance motor drives," IEEE trans. IA, vol.28, no.1, Jan./Feb. 1992
- [4] M.Ehsani, I.Husain, K.R.Ramani and S.Mahjan, "Sensor elimination in switched reluctance motor drives : an overview and state of the art," Proc. ISPE, pp.378-386, Apr. 1992