

스위치드 릴럭턴스 모터의 센서리스제어를 위한 전압펄스주입 알고리즘

윤용호, 정균하, 이태원, 원충연, 김지원*
 성균관대학교, 한국전기연구원*

Sensorless Control of Switched Reluctance Motor Using Impressed Voltage Pulse Algorithm

Yong-Ho Yoon, Kyun-Ha Jung, Tae-Won Lee, Chung-Yuen Won, Ji-Won Kim
 Sungkyunkwan University, Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

We propose an improved sensorless drive method of Switched Reluctance Motors using impressed voltage pulses. Conventional impressed voltage pulse method has a problem of phase delay because of low-pass filter. So in this paper we propose an improved sensorless driving method based on the impressed voltage pulse using new phase-shift circuit technique that overcomes the phase delay and start-up problem.

1. 서론

본 논문에서는 전압펄스 주입방식을 이용한 SRM (Switched Reluctance Motor)의 센서리스 방식을 제안하였다. 각 상의 여자되지 않은 구간에 토크를 유발하지 않을 정도의 낮은 듀티를 갖는 고주파 전압펄스를 주입함으로써 각상의 인덕턴스 프로파일을 추정할 수 있다^[1]. 그 결과로 SRM의 정토크 영역인 인덕턴스 상승 구간에 전류를 흘려줌으로써 센서리스 운전을 가능 하도록 하였다. 또한, 기존 전압펄스 주입방식의 문제점인 위상 지연 문제와 센서리스 방식의 어려움이라 할 수 있는 초기구동 문제를 해결하였다.

2. 전압펄스 주입방식을 이용한 센서리스 제어

2.1 인덕턴스 프로파일과 피크전류와의 관계

SRM은 토크발생을 위한 상전류가 도통하지 않는 상이 존재하기 때문에 상전류가 흐르지 않는 상으로부터 인덕턴스를 측정할 수 있다. 특히 인덕턴스 검출을 위한 상전류가 토크맥동을 유발해서는 안 되는데 이러한 제한 조건을 만족하기 위해서는 인덕턴스 측정을 위한 전류가 매우 작아야한다. 이를 위해 폭이 매우 좁은 펄스전압을 인가하고 그때의 상전류를 검출하게 되면 매우 작은 전류에 의해 전압강하 및 역기전력 성분은 무시될 수 있으

며 단순히 인덕턴스로 보아도 무방하다^[2].

그림 1은 회전자의 전기적 위치각에 따른 인덕턴스 프로파일과 인덕턴스 검출 전류 파형을 나타내고 있다. 이때 인덕턴스 프로파일과 전류는 서로 반비례관계에 있음을 알 수 있다.

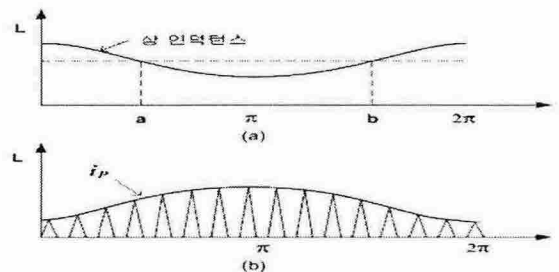


그림 1. 인덕턴스 프로파일 및 인덕턴스 검출 전류
 Fig. 1 Inductance profile and current

2.2 전압펄스 주입방식을 이용한 SRM 센서리스 구동원리

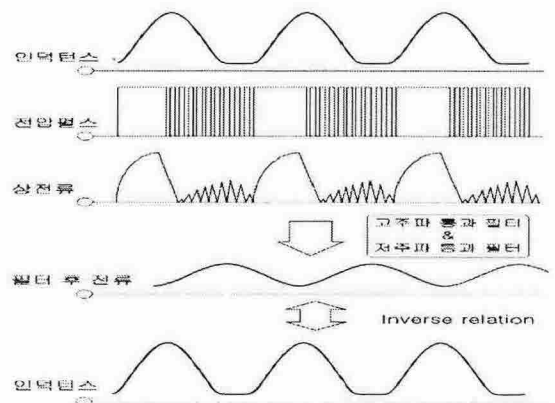


그림 2. 전압펄스 주입방식을 이용한 인덕턴스 추정원리
 Fig. 2 Principle of estimating inductance using impressed voltage pulse

그림 2는 전압펄스 주입방식을 이용하여 인덕턴스를 추정하는 원리를 보여주고 있다.

여자되지 않는 구간에 토크를 유발하지 않을 정도의 좁은 듀티를 갖는 전압펄스를 게이트 단에 인가함으로써 상전류 파형을 얻을 수 있고 고주파 통과필터와 저주파 통과필터를 사용하여 필터 후의 파형을 또한 얻을 수 있다. 그림 2에서와 같이 필터후의 전류파형은 인덕턴스와 서로 반비례 관계에 있음을 알 수 있으므로 전압펄스 주입 방식을 이용하여 인덕턴스를 추정할 수 있고 그 결과로 센서리스 운전이 가능하다.

2.3 제안한 센서리스 방식의 원리

본 논문에서는 전압펄스 방식의 문제점인 위상 지연 문제를 해결하기 위해 Phase shift 회로를 구성하여 초기구동부터 고속영역에 이르기까지 정토크 발생영역인 인덕턴스 상승구간을 정확히 검출할 수 있도록 하였다. 각 상에 전압펄스를 인가하여 그림 3과 같이 인덕턴스와 반비례관계인 이상적 전류파형을 얻을 수 있다. 그러나 이상적 전류파형이 저주파 통과 필터를 거치면 위상이 지연된 전류파형이 발생된다.

그림 4에서 광센서 A상에서 발생하는 sa신호는 저주파 통과 필터를 거쳐서 만들어진 전류와 Ref. 전압과 비교되어 얻어진 ssa신호와 동일하지 않음을 알 수 있다. 따라서 기존 전압펄스 방식의 센서리스 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 Phase shift 회로를 사용하여 ssa신호를 광센서 신호 sa와의 위상차를 보상하여 인덕턴스 상승부분을 정확하게 검출할 수 있도록 하였다.

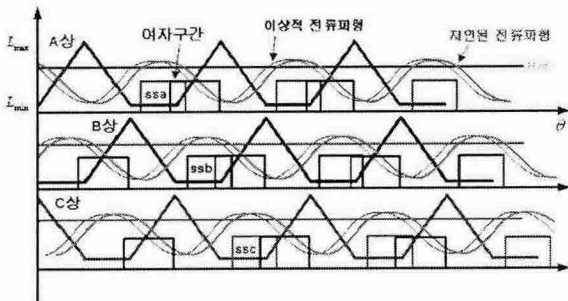


그림 3. 제안한 센서리스 방식의 기본원리
Fig. 3 Principle of proposed sensorless operation

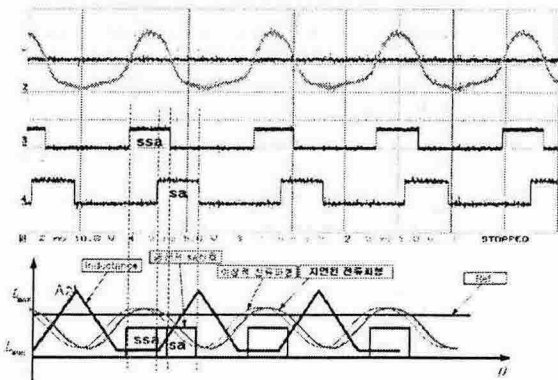


그림 4. ssa신호와 광센서 sa의 신호 비교
Fig. 4 ssa signal and sa signal of optical sensor

2.4 Phase shift 회로

그림 5는 본 논문에서 전압펄스 방식의 문제점인 위상 지연 문제를 해결하기 위해서 사용된 phase shift 회로를 나타내고 있다. 그림 8에서 저주파 통과 필터를 거쳐서 만들어진 전류와 Ref. 전압과 비교되어 얻어진 ssa신호는 f/V 컨버터의 입력으로 활용되어 속도에 비례한 출력전압을 얻을 수 있다.

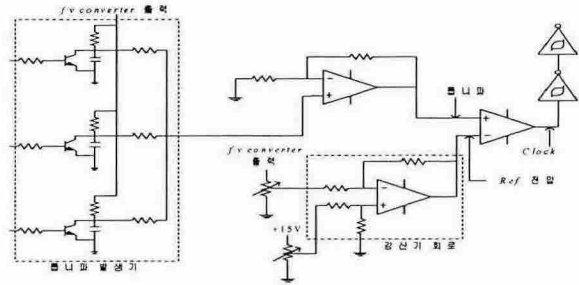


그림 5. Phase shift 회로
Fig. 5 Phase shift circuit

2.5 초기구동 회로

그림 6은 제안된 초기구동 및 A, B, C상 게이트신호 발생부분으로써 초기구동시 저주파 통과 필터를 거쳐서 만들어진 전류와 Ref. 전압과 비교되어 얻어진 ssa, ssa', ssa'' 신호들이 서로 약간 겹치도록 설정되어 있다. 그리고 겹친 부분에서 각 상의 D-FF의 클럭단자로 들어가는 Clock신호를 얻을 수 있다.

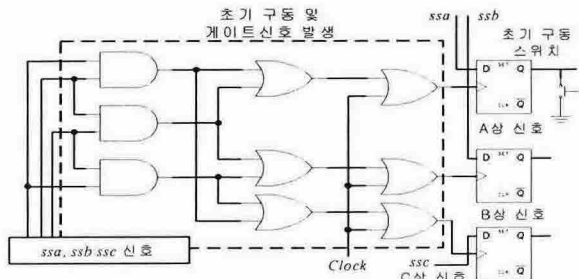


그림 6 제안된 초기구동 및 게이트신호 발생
Fig. 6 Start-up circuit and gate signal

3. 실험 결과

그림 7은 그림 4에서 설명한 전압펄스 주입방식을 이용하여 각상의 인덕턴스를 검출하기 위해 상전류와 필터 회로를 사용하여 나타난 전류파형을 각각 보여주고 있다.

그림 8은 전압펄스 주입방식에 의한 문제점으로써 필터를 통과한 전류파형과 Ref. 전압에 의해 비교된 ssa신호는 실제 광센서를 사용하여 얻어진 sa신호와 위상차가 발생됨을 보여 주고 있다.

그림 9는 그림 8에서 언급한 위상차를 보상해 주기 위해 제안된 Phase shift 회로를 사용했을 경우의 출력신

호를 보여주고 있다. 톱니파 발생기와 Ref. 전압과의 비교되어 얻어진 Clock신호는 D-FF의 클럭단자의 입력신호로 사용되어 최종적인 Phase shift회로에 의한 출력신호를 얻을 수 있다.

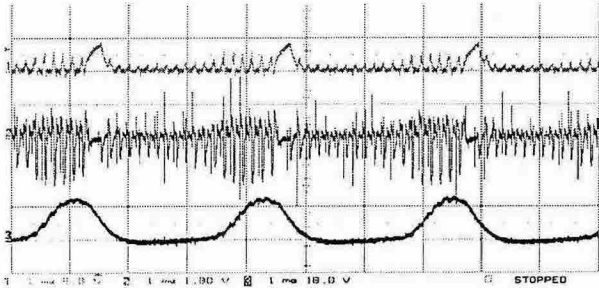


그림 7. 상전류와 필터를 사용한 후의 전류
Fig. 7 Phase current and current of filter

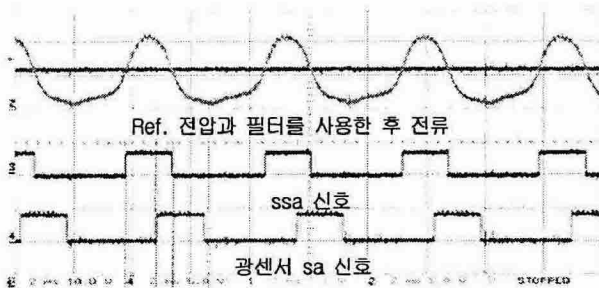


그림 8. ssa신호와 광센서 sa신호
Fig. 8 ssa signal and sa signal of optical sensor

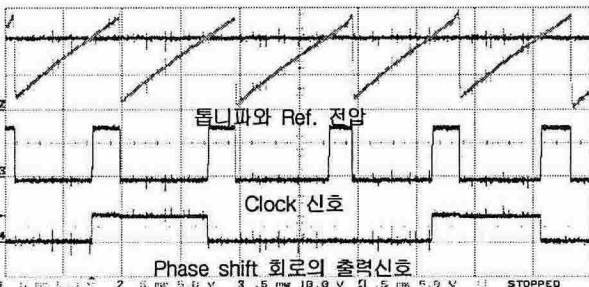


그림 9. Phase shift회로의 출력신호
Fig. 9 Output signal of phase shift circuit

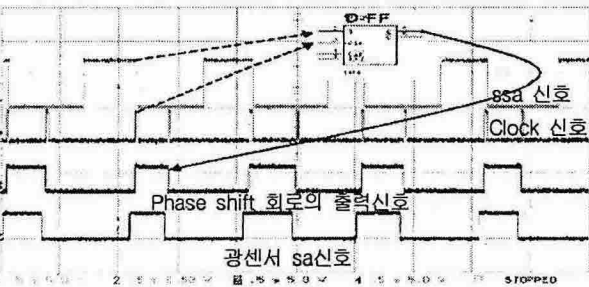


그림 10. Phase shift회로의 출력신호와 광센서 sa신호
(0.5s/div, 10rpm)
Fig. 10 sa signal of optical sensor and output signal of phase shift circuit

그림 10과 11은 10[rpm] 정도의 저속에서부터 6000[rpm]의 고속에 이르기까지 위상지연 없이 광센서에서 발생하는 A상 sa신호와 본 논문에서 제안한 phase shift 회로를 사용하여 발생한 신호가 거의 일치하는 것을 보여주고 있다. 그림 12는 2500rpm시 상전류와 ssa신호를 나타내고 있다.

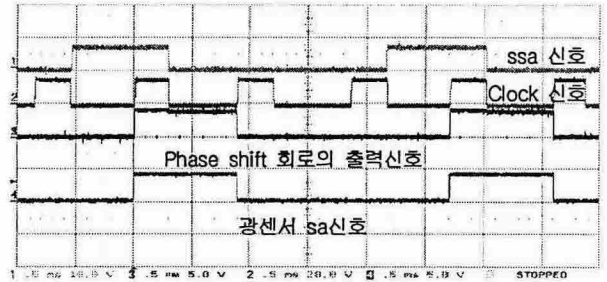


그림 11. Phase shift회로의 출력신호와 광센서 sa신호
(0.5ms/div, 6000rpm)
Fig. 11 sa signal of optical sensor and output signal of phase shift circuit

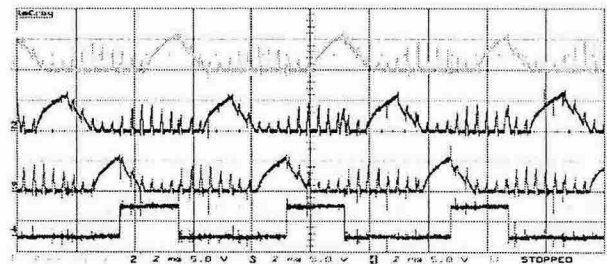


그림 12. 센서리스 운전시 상전류와 ssa신호(2500rpm)
Fig. 12 Each phase current and ssa signal of sensorless operation

3. 결 론

본 논문에서는 전압펄스 주입방식을 이용한 센서리스 방식의 단점인 속도증가에 따른 위상지연 문제를 Phase shift회로를 이용하여 SRM의 정토크 영역인 인덕턴스 상승부를 검출하여 위상 지연 문제와 초기구동의 문제점을 해결하였다.

이 논문은 에너지관리공단(2003-0809-000)의 에너지절약기술개발 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.
- [2] Curtis F. Gerald, Applied Numerical Analysis: Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 1-14, 1978.