

Switched Reluctance Motor 구동을 위한 Analog Controller에 관한 연구

강육* 김학성** 원충연** 김원호*** 임근희***
*오산공전 **성균관대학교 ***한국전기연구소

A Study on an Analog Controller for SRM Drives

W. Kang* H.S Kim** C. Y. Won** W. H. Kim*** G. H. Rim***
*O San Junior College **Sung Kyun Kwan Univ. ***KERI

Abstract - This study describes an analog controller for SRM drives. The overall scheme of the drive is detailed using an 8/6 SRM configuration. Special efforts are exercised in showing the necessity of the triggering angle advances to enhance the drive characteristics such as output-power increase and good speed-responses.

1. 서론

SRM은 구조상의 특징으로 인해 제작 생산적인 측면에서 상당한 이점을 지니고 있으며 또한, 유도전동기와 비교하여 Drive의 구조가 간단하며 단위 체적당 torque, 효율 및 Inverter의 정격동 많은 부분에서 우수한 특성을 지니고 있다. 특히, 광범위한 변속 범위와 초저속 운전을 요구하는 부분에 있어서는 아주 우수한 특성을 나타내므로 chemical plant의 blender나 centrifuges 등에는 아주 적합하다고 할 수 있다. 그러나, 이러한 SRM의 장점들을 최대한도로 이용하려면 motor는 물론 inverter의 제어회로에 대한 전반적인 이해가 뒤따라야 한다.

본 연구에서는 고정자의 극수가 8개이고 회전자 극수가 6개로 구성된 8/6 SRM으로 설계하고 이를 구동하기 위한 inverter를 선정하였다. 그리고, 가변속 제어를 위해 간단하고 제어방식이 간편한 controller를 SRM 구동 이론에 가장 적합하도록 구성하여 전체 drive 설계를 하였으며 회전자의 위치 검출을 위해 SRM에 증분형 encoder를 취부하였다. 또한, high speed나 heavy load 시 요구되는 충분한 전류상승시간의 확보를 위해 EPROM에 서로 다른 triggering angle을 가지는 look-up table을 저장하여 속도 변화에 따라 자동적으로 page를 바꿀 수 있는 controller의 기능에 대해서도 기술한다.

2. Inverter

SRM의 구동특성은 SRM의 설계 방식과 구동을 위한 inverter의 topology에 의해 가장 크게 좌우된다. SRM을 구동하기 위한 inverter 회로는 그림 1.과 같이 고정자 한 상마다 각각 2개의 스위칭 소자가 연결되어 있어 각 상이 다른 상에 의해 영향을 받지 않으며 독립적으로 제어가 된다. 또한, 다른 inverter topology에 비하여 제어 방식이 다양하며 제어하기가 간편하고 소자가 소손될 경우 그 영향을 극소화 할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, A상이 여자 된다고 할 경우 inverter의 동작은 다음의 3가지 상태로 나누어진다.

State 1. S₁과 S₂가 ON되는 경우, 여자 상태.

State 2. S₁ 또는 S₂가 OFF되는 경우,

Freewheeling 상태에서 고정자 권선은 단락 상태가 되며 감자율은 극히 낮음.

State 3. S₁과 S₂가 OFF, 강제 감자 상태. 전류가 capacitor를 통해 충전.

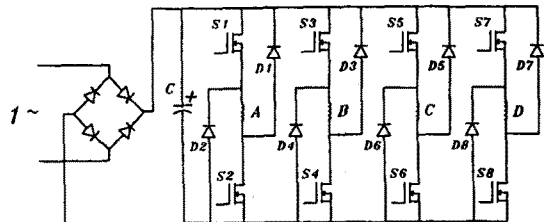


그림 1. SRM 구동용 inverter

3. Controller 및 구동시스템

SRM은 이미 언급했듯이 두개의 각 즉, triggering angle과

conduction angle의 크기를 조절함으로써 가변속 운전이 가능하다.

저속 운전 또는, 정 부하 시에 있어서는 motor의 역기전력과 source 전압의 차이가 아주 크므로 전류 상승율이 매우 높다. 또한, 인덕턴스의 변화율도 상당히 느리므로 이 역시 전류 증가의 요인으로 작용한다. 따라서, 과도한 전류 증가로 인한 시스템의 손상을 막기 위하여 반드시 전류를 제한해 주어야 할 필요가 있다. 저속 운전 시 전류를 제한해 주기 위해서는 크게 두가지 방법이 있는데 하나는 conduction angle을 조절하는 방식이고 또 하나는 전류를 chopping하는 방식이다. 전자의 경우에는 torque ripple이 크며 소음이 심하고 후자의 경우에는 스위칭 손실이 크다는 단점이 있다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위해 작은 torque ripple을 요구하는 고성능기에서는 두개의 상에 전류가 동시에 흐르는 구간을 만들어 제어하는 방식을 취하기도 한다. 고속 운전 시에는 motor의 역기전력이 증가하며 동시에 전류의 값이 증가할 수 있는 시간이 짧게되므로 전류의 상승이 억제된다. 그러므로, 고속운전 시에 필요한 충분한 전류를 확보하고 전류가 적정한 크기만큼 증가할 수 있는 시간을 만들어 주기 위해서 권선에 전압을 인가하기 시작하는 시기 즉, triggering angle을 앞당긴다. 그러나, conduction angle을 늦춤으로써 전류 상승을 증가하는 방식은 바람직하지 못한다. 그러한 큰 ripple torque가 발생하여 평균 torque를 감소시키기 때문이다.

SRM의 제어 이론에 부합하며 간단하면서도 저가의 controller 개발을 목적으로 본 연구에서 구성한 controller 및 전체 시스템과의 간략도는 그림 2.와 같다.

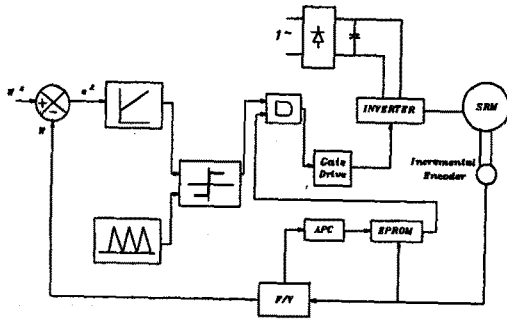


그림 2. SRM 및 구동시스템

SRM은 이미 언급 했듯이 motor의 회전엔 따라 속도 등의 특성을 가변시키기 위해서는 triggering angle과 conduction angle을 조절해야 하는데 이를 위해 반드시 회전자의 위치를 검출하는 위치 센서가 필요하다. 따라서, 그림에서 보는 바와 같이 motor에 8 bit Incremental encoder를 취부하여 회전자의 위치에 따라 각도를 전체적으로 256등분 하여 위치를 검출한다.

Encoder에서 연속적으로 검출되는 회전자의 위치로부터 motor의 회전 방향을 정하기 위해 4 개의 고정자 상들을 어떤 순서로 여자시켜야 할 지를 결정해야 하며 동시에

triggering angle과 conduction angle을 결정해야만 한다. 고정자의 각 상들을 여자 시키는 순서에 따라서 motor의 회전방향이 정해지며 또한, triggering angle과 conduction angle을 속도 변화에 따라 가변 시켜야 하기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 두가지 과정을 수행함에 있어서 특별한 회로 구성이나 logic을 사용하지 않고 EPROM만을 사용하여 간단히 구현하였다. 먼저, motor의 회전에 따라서 취부된 encoder로부터 회전자의 위치를 나타내는 8 bit의 data가 연속적으로 출력 된다. 이 때, 이 data들은 EPROM의 address pin들과 맞물려 있어 EPROM 내의 임의의 번지에 위치한 data를 출력하기 위한 address로 사용되어 진다. 즉, 회전자의 위치를 나타내는 encoder의 8 bit data는 EPROM 내의 임의의 위치에 자리하고 있는 data를 출력하기 위한 address로 인식이 되며 이 address가 지정한 위치에 있는 EPROM 내의 data 들은 연속 적으로 출력이 되면서 각각이 motor의 회전 방향과 triggering angle, conduction angle에 관한 정보를 담고 있다. EPROM으로부터 출력되는 data는 EPROM의 4개 pin으로만 출력되도록 했으며 각 pin 들로부터 출력되는 high, low 신호는 motor의 각 상들을 여자시키기 위한 신호로 사용되어 진다. 따라서, EPROM 내에 원하는 고자하는 방식으로 제어가 가능하도록 triggering angle과 conduction angle을 결정하여 table만 저장하여 놓으면 간단하게 여자할 상과 각도를 조절할 수 있는 것이다.

속도가 점차 증가할수록 triggering angle을 앞당겨 전류의 상승시간을 확보하여야 하는데 EPROM으로부터 출력되는 data 값들에 triggering angle의 변화에 관련된 정보를 담기 위해서는 그림 3.에 보는 바와 같이 속도의 변화에 따라 EPROM 내부의 data table 들을 자동적으로 가변시키면서 출력할 수 있는 automatic page changer(APC)를 제작하였다.

Encoder의 최하위 bit로 부터 f/v 변환되어 속도에 비례하는 값을 가지는 직류치를 4개의 부분으로 나누어서 이 값들을 그림 3.의 각각의 가변저항에 의해 조절되는 전압과 comparator에 의하여 비교하며 comparator의 출력은 8/3 encoder의 입력으로 사용되어진다. 적절히 선택되어진 8/3 encoder의 출력 pin 두개는 EPROM의 8,9번째 pin과 맞물려 있으므로 comparator의 출력 값들이 속도의 변화에 따라서 high, low의 상태로 변화하면 256개의 data로 구성되어진 table들이 가변적으로 선택되어진다. EPROM 내부에는 triggering angle이 각각 다른 4개의 table이 존재하므로

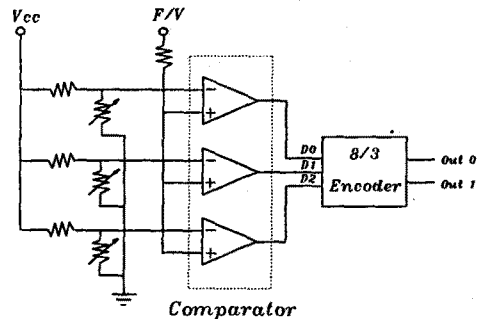


그림 3. Automatic page changer

속도가 변화되면 자동적으로 선택되어지는 table도 변화하게 되므로 triggering angle이 제어되는 것이다.

4. 실험 결과 및 검토

실험에 사용된 inverter의 스위칭 소자는 IRFP460을 사용하였으며 입력측 DC-link 전압은 단상 110V를 정류하였다. 부하로는 DC motor를 SRM과 기계적으로 연결하여 계자 전압 90V를 인가한 상태에서 특성을 검토하였다.

그림 4.와 그림 5.는 각각 APC가 없는 경우와 있는 경우의 2400rpm step 속도 지령에 대한 응답을 보인 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 APC가 있는 경우는 지령치에 대한 속도 응답이 더욱 빠름을 알 수 있는데 이는 속도 증가에 따라서 triggering angle을 앞당김으로서 전류값이 충분히 증가하게됨을 의미한다.

그림 6.과 그림 7.은 속도가 각각 900rpm과 2400rpm에서 상전류의 파형을 보인 그림이다. 속도의 증가에 따라 인덕턴스의 상승 속도가 빨라지므로 전류의 폭이 줄어들게 되며 일정 부하에 대하여 속도가 증가할 시에 충분한 triggering angle 상태에서는 상전류의 값이 증가됨을 알 수 있다.

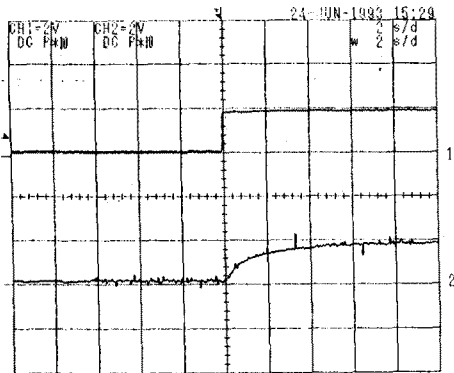


그림 4. Step 속도 지령에 대한 응답 특성
(APC가 없는 경우 2400rpm)

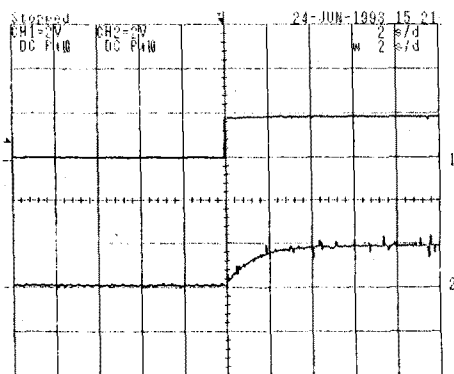


그림 5. Triggering angle advance에 의한 응답 특성
(APC가 있는 경우 2400rpm)

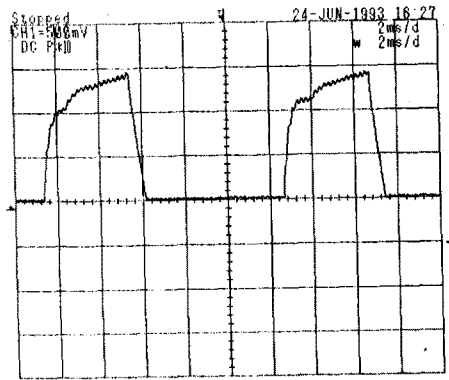


그림 6. 상전류 파형 (900rpm 0.5A/div)

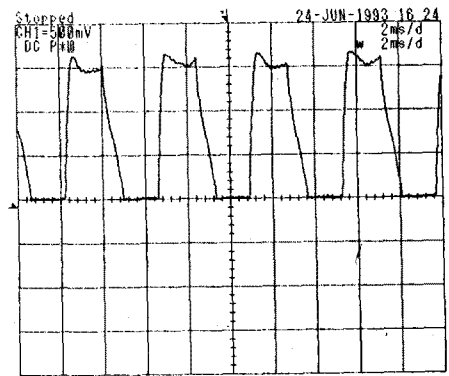


그림 7. 상전류 파형 (2400rpm 0.5A/div)

5. 결론

본 연구에서는 SRM을 구동하기 위한 analog controller에 대하여 기술하였다.

- 1) 전류 센스의 사용없이 APC 기능에 의하여 속도의 변화나 부하변동에 따라 인가전압을 제어하는 방식을 도입하였음.
- 2) EPROM의 채용으로 구동회로의 간편성 및 가격을 절감 시킬.
- 3) 스위칭주파수 20KHz까지의 고속 스위칭으로 noise 저감과 fast response 기능을 부여함

향후 연구 분야로는 sensorless 구동, kWh inverter의 개발 및 제어회로의 digital화를 통한 다기능, 간편화 등을 들수 있겠다.