

마이크로 컨트롤러를 이용한 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 기동기 설계

김성결 · 백형래 · 조금배 · 서강성 · 박수강 · 임양수
 *조선대학교 **서강정보대학

Design of a Capacitor Starting Switch for SPIM Using Microcontroller

S.K. Kim · H.L. Baek · G.B. Cho · K.S. Seo · S.K. Park · Y.S. Lim
 Chosun Univ. * Seokang College **

Abstract - Single phase induction motor(SPIM) is one of the most widely used type of low power AC motors in the world, especially for domestic or commercial applications where a three phase power supply is not available.

Fractional horse power of the SPIM have no starting torque their own. So there are several ways of starting SPIMs. The most common type is the starting capacitor installed in series with the auxiliary winding to increase the starting torque. Also, the auxiliary winding is disconnected once the speed of the motor reaches 70 to 80 [%] of the rated speed.

In the conventional systems, this function is conducted by a centrifugal switch. But the mechanical centrifugal switch has many problems such as switch malfunction.

This paper presents the starter design of SPIM capacitor starting switch using microcontroller.

2. 단상유도전동기 등가회로

단상유도전동기는 주권선에 의한 교번자계이기 때문에 기동 토크가 없다. 정지된 단상유도전동기는 스스로 회전자계를 발생시킬 수가 없어 회전하지 못하나 임의의 방법으로 외부에서 한쪽 방향으로 회전시키면 그 방향으로 토크가 발생하고 전동기는 계속 회전하게 된다.^[3]

기동토크를 만들기 위하여 주권선 외에 보조권선을 가지고 있으며 단상유도전동기는 주권선에서 자기적으로 보통 전기각 90°로 떨어져 있는 위치에 보조권선을 배치하고 주권선과 병렬로 접속한다.

그림 1은 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 회로도를 나타낸 것으로 회전자계를 발생시키기 위해서 보조권선에 직렬로 콘덴서를 접속하여 주권선과 보조권선의 전류 위상차를 90°만큼 만들고 불평형 회전자계를 만들어 큰 기동토크를 발생시킨다. 기동 후 동기속도의 70~80[%]에서 동작하는 원심력 개폐기 Sw에 의해서 보조권선이 주권선에서 개로된다.

1. 서 론

단상유도전동기 중 콘덴서기동형은 기동 토크가 크다는 장점이 있어 널리 사용되고 있다.

회전자계를 발생시키기 위해서 기동권선에 직렬로 커패시터를 접속하여 주권선과 기동권선 전류의 위상차를 90°만큼 만들고 불평형 회전자계를 만들어 큰 기동 토크를 발생시킨다. 콘덴서 기동형 단상유도전동기는 원심력 개폐기에 의해 기동시 전동기의 속도가 동기속도의 70~80[%]에 도달할 때 보조권선을 주권선에서 개로시킨다.^[1] 기동 스위치에 요구되는 성질은 개폐시점이 정확해야 하고 과부하나 정지 조건에서 모터의 속도가 감소되어도 다시 자동적으로 모터를 재 기동 할 수 있어야 한다. 또한 열악한 환경에서 많이 사용되므로 가격이 싸고 고장이 적어야 하며 견고해야 한다. 이 스위치의 성능은 모터 전체의 수명을 좌우하고 스위치가 오동작함으로써 파급되는 현상은 과전류로 인한 콘덴서의 소손과 이어서 기동 불능으로 모터의 코일이 손상될 뿐만 아니라 부하에 치명적인 영향을 줄 수도 있다.^[2]

본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 기계적인 원심력 스위치를 사용함으로써 발생하는 단점을 극복하고자 무접점으로 동작하는 반도체 소자인 트라이악을 사용하였고 게이트 트리거 전압을 발생하기 위해 마이크로 컨트롤러를 이용하여 단상유도전동기를 제어 하였다.

본 논문에서 제안한 기동기는 무접점으로 전동기를 기동하여 스위치의 수명을 반영구적으로 개선하고, 전동기가 기동순간에 받는 충격을 줄이고 전동기 자체적 수명 개선은 물론 소음이나 아크가 없는 안정된 기동이 이루어 짐을 실험을 통해 입증하였다.

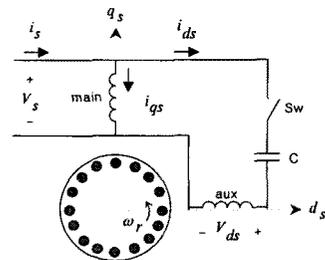


그림 1. 콘덴서 기동형 단상유도전동기 회로도

그림 2는 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 페이저도를 나타낸 것으로 주권선과 보조권선 전류의 위상차는 90°에 가깝게 되므로 기동전류는 주권선 전류 I_m 과 보조권선 전류 I_a 의 벡터합 I 가 된다.^[4]

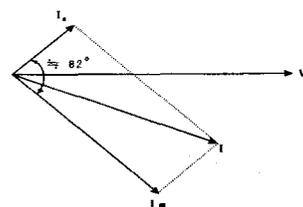


그림 2. 콘덴서 기동형 단상유도전동기 페이저도

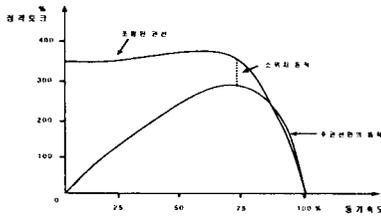


그림 3. 콘덴서 기동형 단상유도전동기 속도-토크 특성 곡선

콘덴서 기동형 단상유도전동기의 속도-토크 특성 곡선은 그림 3과 같다. 콘덴서에 의한 조합된 권선에 의해 큰 기동토크로 기동한 후 정격속도의 70~80(%) 정도에서 기동스위치를 개방하여 정상상태를 유지하게 된다.

콘덴서 기동형 단상유도전동기는 기동 시 주권선과 보조권선으로 기동되기 때문에 기동시 2상으로 해석된다.

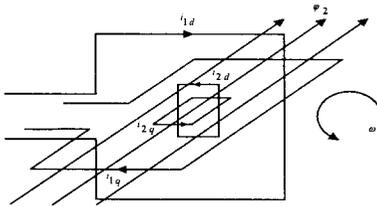


그림 4. 콘덴서 기동형 단상유도전동기 d-q 모델

그림 4는 d-q 모델의 원리로서 ϕ_2 는 i_{2d} 와 i_{2q} 의 전류가 만든 자속이며 회전자 권선이 반 시계 방향으로 회전하고 있다면 2차 자속 ϕ_2 에 직각인 기자력을 만드는 1차축 전류를 i_{1q} 라고 가정한다.

회전자 또한 2차 자속에 대해서 평행되는 기자력을 만드는 권선을 d축 권선, 직교되는 기자력을 만드는 권선을 q축 권선으로 하고 각 권선에 흐르는 전류를 각각 i_{2d} 와 i_{2q} 로 가정한다.

실제적으로 1차권선은 고정되어 있지만 권선에 의해서 만들어지는 기자력과 같은 크기와 방향을 가지도록 선택한다. 회전자도 마찬가지로 실제의 농형 유도전동기에서는 다수의 2차 도체가 회전하고 있지만, 이것을 2차 자속에 대해서 평행 및 직각되는 기자력을 만드는 위치에 두어 상호 직교하는 2개의 권선, i_{1d} 와 i_{1q} 를 주권선과 보조권선으로 하고 i_{2d} 와 i_{2q} 를 주권선과 보조권선 전류에 유도된 회전자 전류라 할 수 있다.

3. 시스템 구성

스위칭소자로 사용되는 트라이액(TRIAC)은 양방향 3단자 사이리스터로서 (+)또는 (-)게이트 신호로 전원의 정·부 어떠한 방향으로든 턴-온이 가능하며 상용주파수에서 교류전력제어를 한 개의 소자로 제어할 수 있는 특성을 가지고 있다. 트라이액은 1·II 상한에서 전류를 흘리지 못하는 오프상태와 전류를 흘리는 온 상태의 두 가지 안정상태를 가진다. 이와 같은 트라이액의 특성을 가장 잘 활용할 수 있는 것이 교류 스위치로 작은 게이트 전류에서 쌍방향으로 턴-온이 가능하므로 상용주파수의 교류제어기에 널리 쓰인다.

그림 5는 무접점 반도체 스위칭소자를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 시스템 블록도를 나타낸 것이다. 제작된 검출기를 통해 주권선 전류를 입력받아 전류에 비례하는 전압을 만든 후 컨트롤 드라이브에 의해서 단상유도전동기의 보조권선을 트라이액에 의해 제어하는 시스템으로 구성되어 있다.

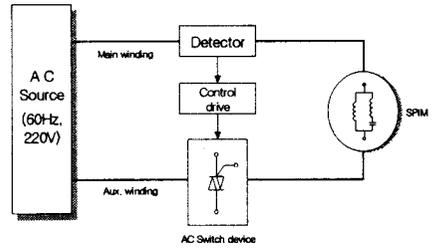
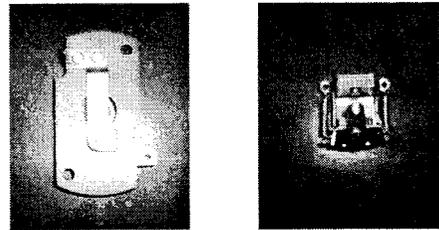


그림 5. 시스템 블록도

3.1 기계식 기동기

기존의 기계식 스위치인 원심력 개폐기의 구조는 그림 6에서 나타난 고정부(a)와 회전부(b)로 나누어진다. 전동기의 회전력으로 인해 전동기의 샤프트와 일체화된 원심력 개폐기의 회전부는 전동기의 회전자와 같이 회전하고 전동기의 동기속도의 70~80(%)를 기준으로 원심력 스위치의 고정부에 위치해 있는 보조권선의 직렬 접점을 개방하고 단락 시키도록 작용한다. 이때 보조권선의 개방과 단락을 결정짓는 시점은 회전부에 위치해있는 스프링의 장력에 의해서 결정되어진다. 기존의 원심력 스위치의 구조는 고정부가 전동기의 어느 한 부분에 장착이 되어야 하고 회전부는 전동기의 축인 샤프트에 고정되어 있어야 한다.

현재 대부분 콘덴서 기동형 단상유도전동기에서 원심력 스위치로 인한 부피의 비율은 전동기 전체 부피 중 약 30(%)를 차지한다. 결국 원심력 스위치로 인해서 불필요하게 전동기의 전체 부피가 증가하고 전동기의 생산 및 공정 면에서도 구조가 복잡한 원심력 스위치를 전동기에 장착함으로써 인해서 생산원가의 상승도 크다.



(a) 고정부 (b) 회전부
그림 6. 기존의 기계식 원심력 스위치

3.2 마이크로컨트롤러 전자식 기동기

본 논문에서 제안한 마이크로컨트롤러를 이용한 전자식 기동기의 제어회로도를 그림 7에 나타내었다. 보조권선 제어를 위해 마이크로칩사의 제품인 8비트 원 칩 마이크로컨트롤러 PIC16F84A를 사용하였으며 제어부와 파워부의 절연을 위해 MCP3022 포토커플러를 사용하였다.

PIC16F84A는 프로그램 메모리가 EEPROM으로 되어 있기 때문에 몇 번이라도 프로그램을 즉시 소거하고 간단하게 다시 기록할 수 있어, 실험이나 다양한 제어에 적합하며 RISK 구조여서 전체명령의 수가 35개로 적으며 프로그래밍 하는데 용이하다. 또한 외부회로가 거의 필요 없이 동작이 가능하며 콤팩트한 사이즈이기 때문에 산업 제어용으로 널리 쓰이고 있다.

4.1 기계식 기동기에 의한 구동

기존의 기계식 스위치인 원심력 개폐기를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기동특성을 750(W)모터로 측정하였다.

750(W) 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 특성을 그림 12 및 그림 13에 나타내었다. 정격도달시간이 91.0(ms), 보조권선 오프시간은 79.4(ms)로 정격속도의 87(%)에서 오프됨을 알 수 있다. 기동시 주권선 피크치 전류는 40(A), 정격 시 피크전류 10(A)로 나타나고 있다.

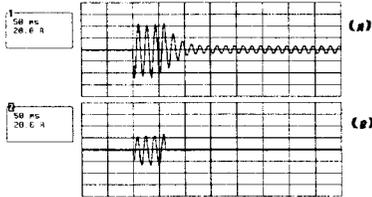


그림 12. 원심력 개폐기를 이용한 주권선 및 보조 권선 전류
(a) 주권선 전류 (b) 보조 권선 전류

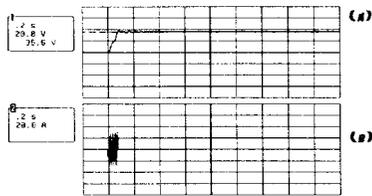


그림 13. 원심력 개폐기를 이용한 속도 및 보조 권선 전류
(a) 속도 (b) 보조 권선 전류

4.2 마이크로컨트롤러 전자식 기동기에 의한 구동

마이크로컨트롤러 전자식 기동기는 프로그램화된 기준 전압과 주권선에서 검출된 이산화된 A/D 전압값과 비교하여 보조권선을 제어하는 전자식 기동기로서 750(W) 전동기를 대상으로 실험을 하였다.

그림 14, 그림 15 및, 그림 16은 750(W) 전동기의 특성으로 기준전압은 0.31[V]이고 기동전류의 피크치가 40[A]에서 주권선 검출전압이 최대 5[V]에서 0[V]로 선형적으로 감소하고 0.31[V] 이상일 때 트리거 전압 5[V]가 게이트에 입력되고 0.31[V]이하에서 0[V] 출력되어 보조권선이 제어됨을 알 수 있다. 정격도달 시간은 79.4(ms), 보조권선 오프시간이 65.8(ms)로 정격속도의 83(%)에서 제어됨을 나타내고 있다.

마이크로컨트롤러 전자식 기동기는 간단히 프로그램화된 기준전압의 변화만으로 전동기의 용량에 맞는 전자식 기동기 설계가 가능하고 기동시점을 조절할 수 있으며 안정된 운전을 할 수 있다는 장점이 있다.

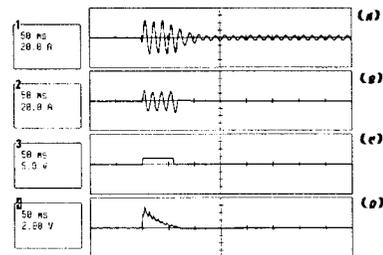


그림 14. 제안한 전자식 기동기에 의한 구동
(a) 주권선 전류 (b) 보조 권선 전류

(c) 게이트 구동신호 (d) A/D검출신호

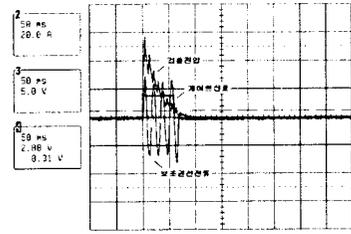


그림 15. 제안한 전자식 기동기 검출신호, 게이트 신호 및 보조 권선 전류

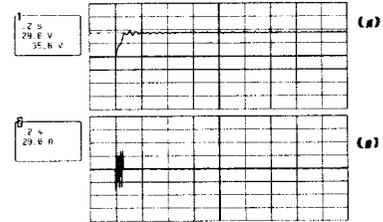


그림 16. 제안한 전자식 기동기 속도 및 보조 권선 전류
(a) 속도 (b) 보조 권선 전류

5. 결론

기존의 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기계식 기동기인 원심력 개폐기는 기동시간이 불안정하고 기계적인 수명의 한계성으로 불안정한 기동특성을 나타낸다. 또한 기계적 접촉으로 발생하는 아크나 부식, 소음 등으로 전동기의 수명을 단축시키는 주된 요인이 되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 무접점 반도체 스위칭 소자인 트라이액(TRIAC)을 사용하였다. 또한 트라이액을 트리거 시키기 위한 게이트 신호는 주권선 전류를 검출하여 A/D변환 한 후 마이크로 컨트롤러에서 제어한다. 이와같이 무접점으로 전동기를 기동하여 스위치의 수명을 반영구적으로 개선할 수 있었고 전동기가 기동순간에 받는 충격을 줄이고 전동기 자체의 수명개선은 물론 소음이나 아크가 없는 안정된 기동 및 기동시간을 단축할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] A.I. ALOLAH and A.M. ALSUWAILEM: Static Starting Switch for Single-Phase Induction Motor, *INT.J. Electronics*, Vol.67, No. 1, pp. 153-160, 1989.
- [2] TIAN-HU LIU, PI-CHIEH WANG: Implementation of a Single-Phase Induction Motor on a DSP Based System, *PESC*, pp. 514-521, 1994.
- [3] A.K. ABDULWAHAB, C.B. GRAY: A Self-Starting Facility for the Single-Phase Induction Motor, *UPEC BP*, pp. 631-633, 1989.
- [4] Peter F. Ryff, David Platnick, Joseph A. Karnas: *Electric Machines and Transformers*, pp. 301-307
- [5] 신대섭, 정상봉: 8051+C언어를 이용한 초보자가 만드는 로봇, pp. 209-210[1] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도