

단상유도전동기의 인덕터 전자식 기동기 설계

서강성, 박수강, 박제웅, 박진형, 조금배, 백형래
 조선대학교 전기공학과

Desing of Inductor Electronic Starting Switch
 of Single Phase Induction Motor

K.S. Seo, S.K. Park, J.W. Park, J.H. Park, G.B. Cho, H.L. Baek
 Dept. of Electrical Eng. Chosun University

Abstract - Fractional horse power single phase induction motors have no starting torque their own. So there are several ways of starting single phase induction motors. 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 new methods of electronic starting switch by inductor to overcome these shortcomings of centrifugal switch.

1. 서 론

일반적으로 유도전동기 중 단상 유도전동기는 단상 전원에 간단히 연결하여 사용할 수 있어 가정용, 농업용 및 소규모 공업용으로 사용되고 있으며 1kw급 미만의 소용량의 것이 쓰이고 있다. 이러한 단상유도전동기는 스스로 기동을 할 수 없어 기동 토크를 발생하기 위해 외부장치를 필요로 한다. 또한 기동 토크를 만들기 위하여 주권선 외에 보조권선을 가지고 있으며 원심력개폐기에 의해 기동시 전동기의 속도가 동기속도의 70~80 [%]에 도달할 때 보조권선을 주권선에서 개로시킨다.⁽¹⁾

이러한 기동 스위치에 요구되는 성질은 개폐시점이 정확하여야 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⁾

최근 산업기술이 급속도로 발달함에 따라 단상유도전동기 업계에서는 기존 전동기보다 효율이 뛰어나고 외부 기동장치의 보수가 간단하고 고 신뢰성, 소형화, 저소음 등의 성능을 갖춘 전동기의 개발을 기대하고 있다.⁽³⁾ 또한 특허청에 출원된 단상유도전동기의 기동기에 관한 것은 7건 정도 되는데 모두 릴레이, 홀센서, 타이머 등 부피나 경제적인 면에서 단점을 지니고 있다.

본 논문에서는 기존의 기계적 스위치의 개폐 시 발생하는 아크나 소음으로 회전부분이 쉽게 파손되는 단점 및 빈번한 기동으로 나타나는 부정확한 개폐시간 등의 여러 문제점으로 인한 전동기 수명을 단축시키는 원인이 되는 원심력 개폐기 대신 무접점으로 전동기를 기동하여

스위치의 수명을 반영구적으로 개선시키고, 전동기가 기동순간에 받는 충격을 줄이며 전동기 자체의 수명개선은 물론 소음이나 아크가 없는 안정된 기동을 하는 전자식 기동기의 개발에 중점을 두었다. 단상유도전동기의 성능 개선 방안으로 무접점 반도체 스위칭소자인 트라이액을 이용한 전자식 기동기를 개발하였으며 트라이액의 게이트를 트리거 시키기 위한 구동부의 설계 방법으로 주권선 전류검출의 인덕터에 의한 전자식 기동기를 설계하고 그 특성을 실험을 통해 비교 분석하였다.

2. 단상유도전동기의 기동원리 및 수학적 모델

단상유도전동기는 1차 주권선에 의한 교번자계이기 때문에 기동 토크가 없다. 정지된 단상유도전동기는 스스로 회전자계를 발생시킬 수가 없어 회전하지 못하나 어떠한 방법으로 외부에서 한쪽 방향으로 회전시키면 그 방향으로 토크가 생기고 전동기는 계속 회전하게 된다.⁽⁴⁾

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

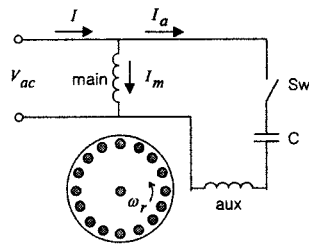


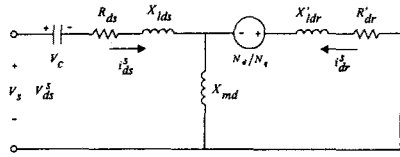
그림 1 커패시터 기동형 단상유도전동기의 회로도

그림 1은 커패시터 기동형 단상유도전동기의 회로도이며 주권선의 전류 I_m 을 i_{as}^s , 보조권선의 전류 I_a 를 i_{as}^s 라 하면 T형 등가회로도는 그림 2의 (a), (b)와 같이 나타낼 수 있다. 주권선 전압은 식 (1)과 같이 나타내며

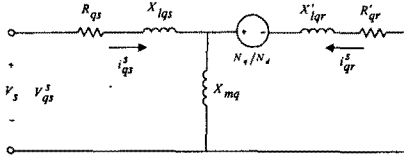
$$V_{as}^s = V_s \tag{1}$$

보조권선 전압은 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$V_{as}^s = V_s - \frac{1}{C} \int i_{as}^s dt \tag{2}$$



(a)



(b)

그림 2 T형 등가회로

위의 T형 등가회로도 전류의 방향을 화살표 방향으로 하여 전압방정식을 세우면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V'_s &= (R_s + \frac{p}{\omega_b} X_{qs}) \cdot i'_s + (\frac{p}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i'_r \\
 V'_d &= (R_d + \frac{p}{\omega_b} X_{ds}) \cdot i'_d + (\frac{p}{\omega_b} X_{md}) \cdot i'_r \\
 0 &= (\frac{p}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i'_s - (\frac{N_g}{N_d} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{md}) \cdot i'_d \\
 &+ (R'_r + \frac{p}{\omega_b} X'_{qr}) \cdot i'_r - (\frac{N_g}{N_d} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X'_{dr}) \cdot i'_d \\
 0 &= (\frac{N_g}{N_s} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i'_s + (\frac{p}{\omega_b} X_{md}) \cdot i'_d \\
 &+ (\frac{N_g}{N_s} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X'_{qr}) \cdot i'_r + (R'_d + \frac{p}{\omega_b} X'_{dr}) \cdot i'_d
 \end{aligned} \quad (3)$$

각각의 전류는 다음 식 (4)로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 i'_d &= (\lambda_{ds} - \lambda_{dm}) / L_{ds} \\
 i'_s &= (\lambda_{qs} - \lambda_{qm}) / L_{qs} \\
 i'_{dr} &= (\lambda_{dr} - \lambda_{dm}) / L_{dr} \\
 i'_{sr} &= (\lambda_{qr} - \lambda_{qm}) / L_{qr}
 \end{aligned} \quad (4)$$

위의 전류의 값에 의해서 토크식을 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{P}{2} \frac{N_g}{N_s} \frac{X_{mq}}{\omega_b} (i'_s \cdot i'_{dr} - i'_d \cdot i'_{sr}) \quad (5)$$

P : 전동기의 극수 [poles]

3. 시스템 구성

본 논문에서 제안한 인덕터 전자식 기동기는 교류 제어 스위칭소자인 TRIAC의 성질을 고려하여 전동기의 보조 권선을 제어한다. 실험에 사용된 전동기는 200 [W], 400 [W], 750 [W] 콘덴서 기동형 단상유도전동기이다. 그림 3은 무접점 반도체 스위칭소자를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 시스템 블록도를 나타낸 것이다. 제작된 인덕터 검출기를 통해 주권선 전류를 입력받아 전류에 비례하는 전압을 만든 후 컨트롤 드라이브에 의해서 단상유도전동기의 보조권선을 트라이액에 의해 제어하는 시스템으로 구성되어 있다.

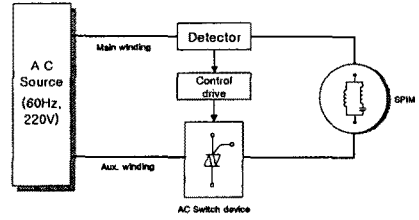


그림 3 시스템 블록도

그림 4는 제안한 인덕터 전자식 기동기의 회로도를 나타낸 것으로 스위칭소자로 사용된 트라이액의 용량은 실험 전동기에 적합한 600 [V], 실효 턴-온전류 I_{T-RMS} 가 25 [A]인 MAC223A8을 사용하였으며 게이트 트리거 전압은 1.1~2.0 [V], 유지전류는 10~50 [mA]이다. 그림 5는 제작한 인덕터 전자식 기동기의 실물 사진을 나타낸 것이며 그림 6은 디텍터 코일의 권선수 [turns]에 따른 인덕턴스 [mH] 특성곡선을 나타낸 것이다.

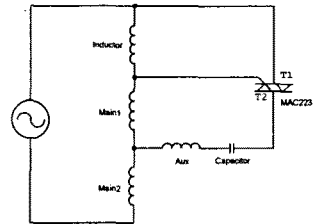


그림 4 인덕터 전자식 기동기 회로도

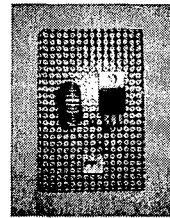


그림 5 인덕터 전자식 기동기 실물사진

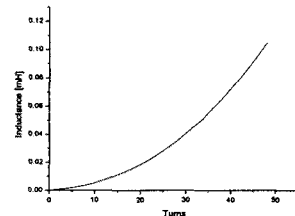


그림 6 턴수에 따른 인덕턴스 특성곡선

4. 실험 및 결과

제안한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 전자식 기동기 특성을 분석하기 위하여 기존의 원심력 개폐기와 인덕터를 이용한 전자식 기동기를 나누어 실험을 통하여 비교 분석하였다.

콘덴서 기동형 단상유도전동기의 주권선 전류 및 보조권선 전류, 검출전압, 게이트 트리거 전압 등을 측정하기 위해 디지털스토리지 오실로스코프(DSO LeCroy 9354A 4CH)를 사용하였으며 다중의 전류측정을 위해 측정범위가 $-15 \sim +30$ [A]이고 절연내압이 2.5 [kV], 정밀도는 ± 1 [%]인 SA-15S Hall Current Transducer를 제작하여 이용하였다. 또한 속도측정을 위해 부하가변 실험장치의 DC 타코제너레이터를 이용하였으며 측정레벨은 1000 [rpm]/20 [V]이다. 본 실험에서 사용된 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 사양은 표 1과 같다.

표 1 단상유도전동기의 사양

200[W]	기동전류[A]	15	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	4	회전수[rpm]	1710
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	200	효 율[%]	52
400[W]	기동전류[A]	20	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	6	회전수[rpm]	1710
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	200	효 율[%]	57
750[W]	기동전류[A]	27.2	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	7.4	회전수[rpm]	1720
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	400	효 율[%]	63

그림 7은 기존의 원심력 개폐기에 의한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 속도특성을 나타낸 것으로 채널 1은 속도, 채널 2는 보조권선 전류를 나타낸 것이다. 전동기 속도가 정격에 도달하는 시간이 131.3 [ms]이고 보조권선이 오프되는 시간은 98.5 [ms]로서 정격속도의 75 [%]에서 보조권선이 오프됨을 알 수 있다. 그림 8은 400 [W] 전동기의 특성을 측정한 파형으로 정격도달시간 166.1 [ms], 보조권선 오프시간 122.5 [ms]로 정격속도의 74 [%]에서 원심력 개폐기가 동작하고 그림 9는 750[W] 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 특성을 나타낸 것이다. 정격도달시간이 91.0 [ms], 보조권선 오프시간은 79.4 [ms]로 정격속도의 87 [%]에서 오프됨을 알 수 있다.

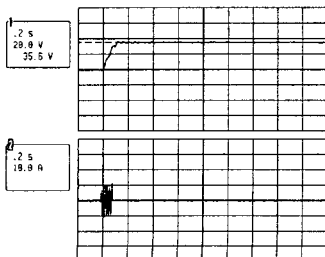


그림 7 기존의 200[W] 전동기의 속도특성

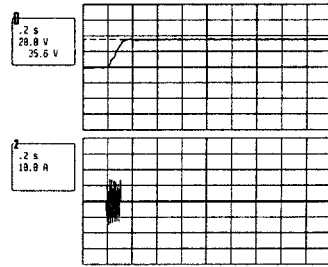


그림 8 기존의 400[W] 전동기의 속도특성

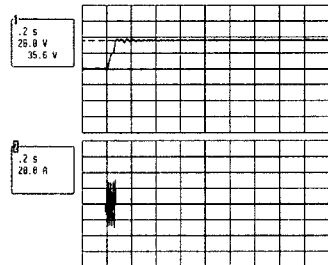


그림 9 기존의 750[W] 전동기의 속도특성

그림 10은 200[W] 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 보조권선 제어를 위해 인덕터 전자식 기동기에 의한 기동특성을 나타낸 것이다. 채널 1은 속도를 나타낸 것이고 채널 2는 보조권선 전류를 나타낸 것이다. 전동기가 정격에 도달하는 시간이 186.9 [ms], 보조권선 오프시간이 142.9 [ms]로 정격속도의 76 [%]에서 트라이앵글이 오프 됨을 알 수 있다. 기계식 기동기의 75 [%]와 비교 시 정격도달 시간이 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다. 그림 11은 400[W] 전동기의 특성을 나타낸 것으로 정격도달 시간이 196.5 [ms]이고 보조권선 오프시간은 159.7 [ms]로 정격의 81 [%]로 나타나며 기계식 기동기의 74 [%]에 비하여 7 [%] 지연됨을 알 수 있다. 그림 12는 750[W] 인덕터 전자식 기동기의 기동특성을 나타낸 것이다. 정격도달 시간이 119.4 [ms]이고 보조권선 오프시간은 75.8 [ms]로 정격의 63 [%]에서 제어된다. 본 실험을 통해 인덕터 전자식 기동기는 정역회전 등 안정된 기동을 할 수 있었으며 기동기 설계가 간단하고 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

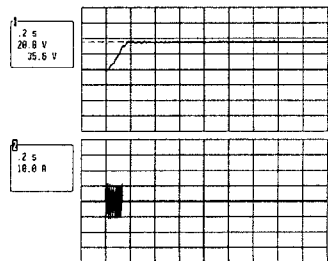


그림 10 제안한 200[W] 전동기의 속도특성

Implementation of a Single-Phase Induction Motor on a DSP Based System, PESC, pp. 514~521, 1994.
 [4] A.K. ABDULWAHAB, C.B. GRAY: A Self-Starting Facility for the Single-Phase Induction Motor, UPEC BP, pp. 631~633, 1989.

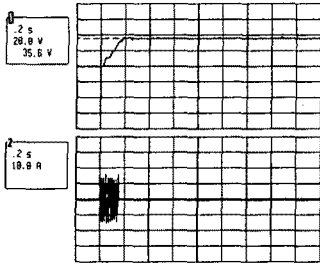


그림 11 제안한 400(W) 전동기의 속도특성

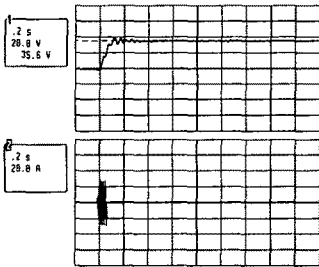


그림 12 제안한 750(W) 전동기의 속도특성

4. 결론

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

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 무접점 반도체 스위칭 소자인 트라이액을 이용한 인덕터 전자식 기동기를 개발하였으며 기존의 원심력 개폐기와 특성을 비교하기 위해 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

전자식 기동기에 의한 트라이액의 온-오프에 의한 보조전선 제어로 전동기의 기동이 확실히 이루어짐을 확인할 수 있었고 기계적인 문제점을 전자식 기동기로 대처하여 기동의 안정성을 유지하면서 기동기의 소형화, 전동기의 경량화 및 설치비용의 절감을 가져올 수 있었다. 이러한 이유로 전자식 기동기는 기계적인 접점부분이 없는 것으로 수명이 길고 빈번한 기동 및 정지를 반복하는 전동기에서 유효할 뿐만 아니라 무접점으로 소음이나 아크 발생이 없기 때문에 폭발성 가스 및 인화물질 등의 화재위험이 있는 곳에서는 유효한 장점을 갖는다고 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] E.R. COLLINS, H.B. PUTTGEN, W.E. SAYLE: Single-Phase Induction Motor Adjustable Speed Drive Direct Phase Angle Control of the Auxiliary Winding Supply, IEEE IAS Annual Meeting Conference, pp. 246~252, 1988.
- [2] 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.
- [3] TIAN-HU LIU, PI-CHIEH WANG: