

범용 기동기에 의한 단상유도전동기의 보조권선 제어특성

論 文

53B-6-6

The Auxiliary Winding Control Characteristics of Single-Phase Induction Motor by Universal Starting Switch

林 洪 雨* · 林 炳 玉** · 鄭 壽 福*** · 曹 錦 培§ · 白 亨 來§§
(Hong-Woo Lim · Byung-ok Lim · Soo-Bok Jung · Geum-Bae Cho · Hyung-Lae Baek)

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. 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. 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 auxiliary winding control using digital universal starting switch to overcome these shortcomings of centrifugal switch.

Key Words : Single phase induction motor, starting torque, starting capacitor, centrifugal switch

1. 서 론

일반적으로 유도전동기 중 단상유도전동기(SPIM)는 단상 전원에 간단히 연결하여 사용할 수 있어 가정용, 농업용 및 소규모 공업용으로 사용되고 있으며 1kw급 미만의 소용량의 것이 쓰이고 있다. 그러나 단상유도전동기는 스스로 기동을 할 수 없어 기동 토크를 발생하기 위해 외부장치를 필요로 한다.^[1] 이러한 기동 토크를 만들기 위하여 주권선 외에 보조권선을 가지고 있으며 원심력개폐기에 의해 기동시 전동기의 속도가 동기속도의 70~80[%]에 도달할 때 보조권선을 주권선에서 개로 시킨다.^[2] 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 오동작으로 인한 현상은 과전류에 의한 콘덴서의 소손과 이어서 기동 불능으로 모터의 코일이 손상될 뿐만 아니라 부하에 치명적인 영향을 줄 수도 있다.^[3]

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.^[4]

본 논문에서는 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기동 성

능개선 방안으로 기존의 기계적 스위치의 문제점인 개폐 시 발생하는 아크나 소음으로 회전부분이 쉽게 파손되고 빈번한 기동으로 나타나는 부정확한 개폐시간 등의 여러 문제점으로 인하여 전동기 수명을 단축시키는 원인이 되는 기계식 기동기인 원심력 개폐기 대신 반도체 스위칭소자를 이용한 전자식 기동기를 설계 개발하였다. 제안한 범용 기동기에서는 무접점 반도체소자인 트라이액을 트리거 시키기 위해 제어부로 원칩 마이크로컨트롤러를 이용하였으며 기존의 기계식 기동기와의 성능분석을 위해 부하실험장치를 통해 기동시 속도 특성을 비교 분석하였다. 이처럼 무접점으로 전동기를 기동하여 스위치의 수명을 반영구적으로 개선하고, 전동기가 기동순간에 받는 충격을 줄이며 전동기 자체의 수명 개선은 물론 소음이나 아크가 없는 안정된 전자식 범용 기동기를 갖는 단상유도전동기의 용량별 보조권선 제어특성을 기술하였다.

2. 콘덴서 기동형 SPIM 기동기설계

2-1. 기존의 기계식 기동기

기존의 콘덴서 기동형 SPIM에 사용되는 기계적인 원심력 스위치의 구조는 그림 1에서 나타낸 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 위치해 있는 스프링의 장력에 의해서 결정되어진다.^[5] 이러한 기존의 원심력 스위치의 구조는 고정부가 전동기의 어느 한 부분에 장착이 되어야 하고 회전부는 전동기의 축인 샤프트에

* 正會員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 博士課程

** 正會員 : 韓國電氣電子試驗研究院

*** 正會員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授

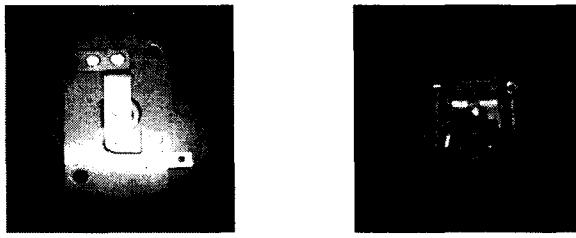
§ 正會員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

§§ 正會員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 5月 23日

最終完了 : 2004年 4月 28日

고정이 되어있어야 한다. 현재 대부분 콘덴서 기동형 단상 유도전동기에서 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 장착함으로 인해 생산원가의 상승도 크다.



(a) Fixing part

(b) Rotating part

그림 1. 원심력 개폐기

Fig. 1 Centrifugal switch of SPIM

2-2. 제안한 범용 기동기

콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기계식 스위치인 원심력 개폐기의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 간단한 조작으로 용량별 모터에 적용시킬 수 있는 범용 전자식 기동기를 설계 개발하였다.

그림 2는 무접점 반도체 스위칭소자를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 시스템 블록도를 나타낸 것이다. 제작된 소형 검출기를 통해 주권선 전류를 입력받아 정류와 필터링을 통해 전류에 비례하는 전압을 만든 후 A/D 변환 칩에 의해 8비트의 디지털값으로 변환하게 된다. 이산화된 디지털값은 원칩 마이크로컨트롤러의 비교신호 입력단자에 입력되어 입력전원과 동기화된 신호가 투입된 후 프로그램화된 기준 전압값과 비교하여 단상유도전동기의 보조권선을 교류 제어소자인 트라이액에 의해 제어하는 시스템으로 구성되어 있다. 전류를 검출하는 장치로는 CT와 Hall 센서 등이 사용되는데 일반적으로 CT는 부피가 크며 5[A]이하의 전류를 검출하기에는 감도가 매우 떨어지며 CT를 위한 외부권선이 필요하다. Hall 센서는 소형 경량이며 전류감도도 양호하지만 가격이 비싸고 Hall 센서를 위한 외부권선이 필요하다. 본 논문에서는 소형 경량이며 저 가격화를 이루기 위해서 소형트랜스를 이용한 전류검출기를 제작하였다.

전동기의 전원에 연결된 전류검출기는 전동기의 입력전류의 크기에 비례한 소형트랜스의 1차측의 권선수를 조정하여 시스템의 검출신호로 적합한 2차측의 전압신호를 얻을 수 있다.

그림 3은 제안한 범용 기동기의 제어 회로도를 나타낸 것으로 보조권선 제어를 위해 마이크로칩사의 제품인 8비트 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC16F84A를 사용하였으며 제어부와 전원부의 절연을 위해 MCP3022 포토커플러를 사용하였다. 그림 4는 입력전원과 마이크로컨트롤러의 동기를 맞추기 위한 Zero-cross 회로를 나타낸 것이다.

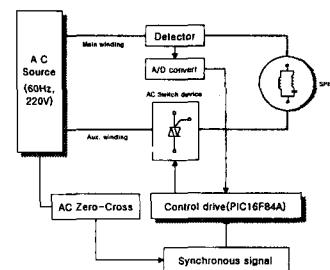


그림 2. 시스템 블록도

Fig. 2 System block diagram

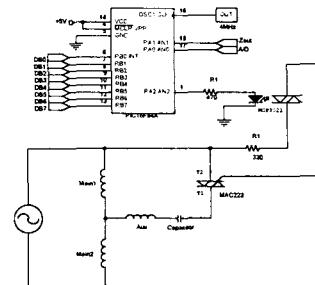


그림 3. 단상유도전동기의 디지털 범용 기동기

Fig. 3 SPIM universal starting switch by digital circuit

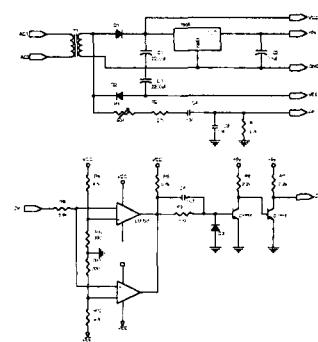


그림 4. 제로-크로스 회로

Fig. 4 Zero-cross circuit

그림 5는 주권선 전류에 비례하는 검출전압을 디지털값으로 변환하는 A/D 변환 회로로서 가변 저항의 분압전압 2.5[V]를 VREF/2의 레퍼런스값으로 가하여 5[V]의 기준전압을 만들고 주권선 전류의 검출전압을 +in 편에 가하면 A/D 변환칩에 의해 기준전압 5[V]에 비례하는 0에서 255개의 이산화된 디지털값이 DB0~DB7을 통해 출력된다.

구동시스템의 제어 알고리즘 순서도는 그림 6에 나타내었다. 시스템을 초기화하고 입력전원과 제로크로스된 동기신호를 입력받고 소형 검출기를 통해 검출된 전동기의 입력전류를 전류에 비례하는 전압으로 만들어 직류신호 형태로 마이크로컨트롤러와 A/D 변환부로 입력된다. 주권선 전류의

기동 시 기동전류의 A/D 변환된 값의 레벨에 따라 프로그램화된 기준값과 비교하여 클 경우는 트라이액을 터-온 시키고 작을 경우는 터-오프 시킨다. 그럼 7은 마이크로컨트롤러 전자식 기동기의 제어시스템의 시제품 실물사진을 나타낸 것으로 입력변수에 따른 여러 조건을 고려하여 간단한 프로그램의 수정으로 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 용량별 적용이 가능한 범용 기동기를 나타낸다.

본 논문에서 제안하여 제작된 범용 기동기는 제어 알고리즘의 변경 및 수정이 용이하고 동작에 정확성을 기할 수 있으며 보조권선 전류의 절감을 가져올 수 있다.

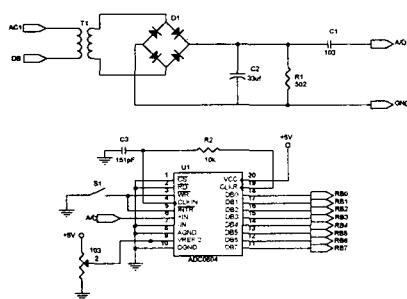


그림 5. A/D 변환회로

Fig. 5 A/D conversion circuit

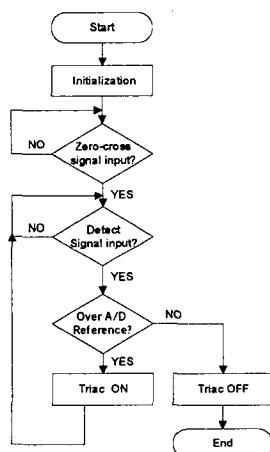


그림 6. 시스템 흐름도

Fig. 6 Flow chart of system



그림 7. 디지털 범용 기동기

Fig. 7 Digital universal starting switch

3. 실험 및 결과

콘덴서 기동형 단상유도전동기의 주권선 전류 및 보조권선 전류, 검출전압, 게이트 트리거 전압 등을 측정하기 위해 디지털스토리지 오실로스코프 DSO LeCroy 9354A와 전류프로브를 사용하였으며 다중의 전류측정을 위해 측정범위가 -15~+30 [A]이고 절연내압이 2.5 [kV], 정밀도는 $\pm 1 [\%]$ 인 SA-15S Hall Current Transducer를 제작하여 이용하였다. 또한 전동기의 속도측정을 위해 부하가변 실험장치의 DC 타코제너레이터를 사용하였고 측정레벨은 1000 [rpm]/20 [V]이다. 그럼 8은 실험장치를 나타낸 것이며 표 1은 실험에 사용된 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 사양을 나타낸다.

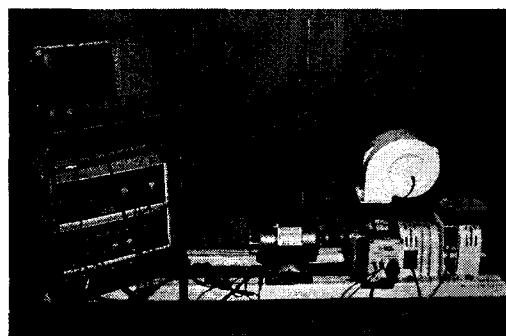


그림 8. 시스템 실험장치

Fig. 8 Configuration of experimental equipment

표 1. 실험전동기 사양

Table 1. The specification of capacitor start SPIM

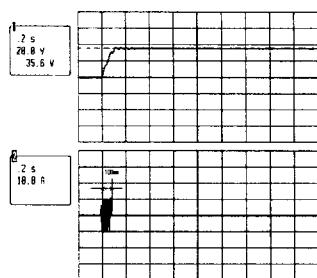
200 [W]	기동전류[A]	15	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	4	회전수[rpm]	1710
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	200	효율[%]	52
400 [W]	기동전류[A]	20	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	6	회전수[rpm]	1710
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	200	효율[%]	57
750 [W]	기동전류[A]	27.2	정격전압[V]	220
	정격전류[A]	7.4	회전수[rpm]	1720
	주파수[Hz]	60	극 수[P]	4
	콘덴서용량[uF]	200	효율[%]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

3-1. 기계식 기동기 실험결과

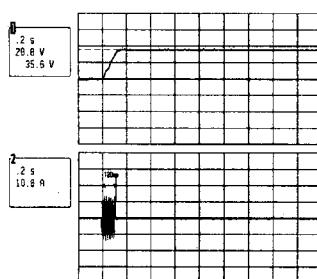
본 논문에서 제안한 범용 기동기와 기동 특성을 비교 분석하기 위해 기존의 기계식 스위치인 원심력 개폐기를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기동시 속도특성을 200 [W], 400 [W], 750 [W] 전동기로 나누어 각각 측정하였다.

그림 9는 기존의 기계식 기동기인 원심력 개폐기를 이용한 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기동특성을 나타낸 것

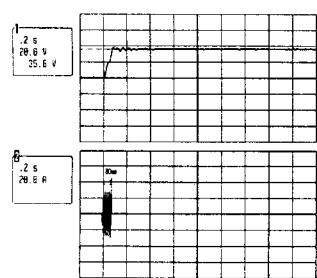
이다. 200 [W]의 경우 전동기가 정격속도에 도달하는 시간은 131.3 [ms]이고 보조권선이 오프되는 시간은 98.5 [ms]로서 정격속도의 75 [%]에서 보조권선이 주권선에서 개로된다. 400 [W] 콘덴서 기동형 단상유도전동기는 정격속도에 도달하는 시간 166.1 [ms], 보조권선 오프시간 122.5 [ms]로 정격속도의 74 [%]에서 원심력 개폐기가 동작하여 750 [W] 전동기는 정격속도에 도달하는 시간이 91.0 [ms], 보조권선 오프시간은 79.4 [ms]로 정격속도의 87 [%]에서 오프됨을 알 수 있다.



(a) 200 [W] SPIM using centrifugal switch



(b) 400 [W] SPIM using centrifugal switch



(c) 750 [W] SPIM using centrifugal switch

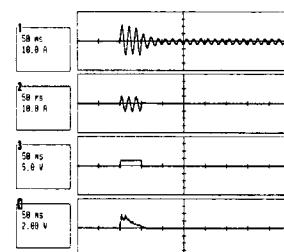
그림 9. 단상유도전동기의 원심력 개폐기 속도 특성
Fig. 9 Speed characteristics of SPIM using centrifugal switch

3-2. 범용 기동기 실험결과

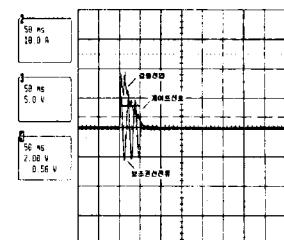
본 논문에서는 기존의 원심력 개폐기의 문제점을 극복하기 위해 디지털 제어방식에 의한 범용 기동기를 설계 개발

하였으며 실험을 통해 분석하였다.

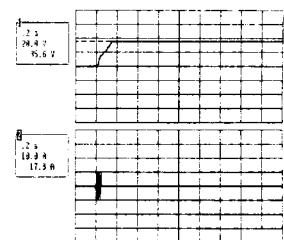
그림 10은 200[W] 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기동 특성을 나타낸 것이다. (a)의 채널 1은 주권선 전류, 채널 2는 보조권선 전류, 채널 3은 트라이액의 게이트 트리거 신호, 채널 4는 주권선 전류의 검출전압을 나타낸 것으로 마이크로컨트롤러의 기준전압은 0.56 [V]로 프로그램화되어 있으며 주권선 검출전압이 0.56 [V] 이상일 때 기준전압보다 크게되어 마이크로컨트롤러의 출력전압 5 [V]가 트라이액의 게이트 신호로서 입력되고 0.56 [V] 이하에서 0 [V]로 출력됨을 보이고 있다. (b)는 트라이액의 트리거 신호에 따른 보조권선의 제어상태를 나타낸 것으로 게이트 신호가 오프 되는 시점에서 보조권선이 오프 됨을 알 수 있으며 프로그램화된 기준전압의 가변으로 보조권선이 오프 되는 시점을 다양하게 제어할 수 있다. 또한 (c)에서 정격속도에 도달하는 시간은 152.5 [ms], 보조권선 오프시간이 62.5 [ms]로 정격속도의 41 [%]에서 트라이액이 오프 되어 기계식 기동기의 75 [%]와 비교할 때 빠른 기동시간을 갖게됨을 알 수 있고 프로그램화된 기준전압의 가변으로 기계식과 동일한 오프 시점을 설정할 수 있다.



(a) Characteristics



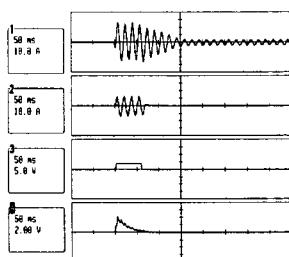
(b) Auxiliary winding control



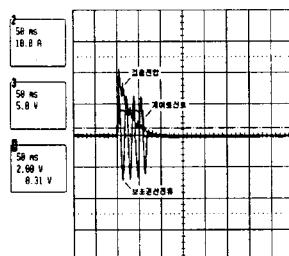
(c) Speed characteristics

그림 10. 범용기동기를 이용한 200[W] 전동기의 특성
Fig. 10 Characteristics of 200 [W] SPIM using universal starting switch

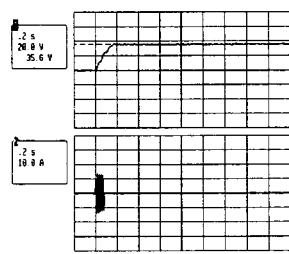
그림 11은 400 [W] 전동기의 특성을 나타낸 것으로 마이크로컨트롤러의 기준전압은 0.31 [V]로 프로그램화되어 있다. 0.31 [V] 이상일 때는 프로그램화된 기준전압 이상이 되어 트라이액의 온 동작으로 보조권선의 전류가 흐르게 되고 0.31 [V]이하에서 트라이액이 오프가 되어 보조권선의 전류가 흐르지 않음을 알 수 있다. 또한 정격속도에 도달하는 시간은 185.3 [ms], 보조권선 오프시간이 96.9 [ms]로 정격속도의 52 [%]에서 트라이액이 오프 되어 기계식 기동기에 비해 향상된 특성을 나타낸다.



(a) Characteristics



(b) Auxiliary winding control

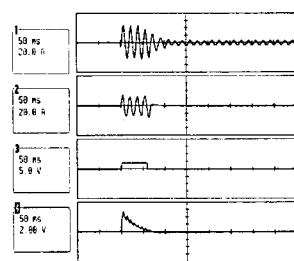


(c) Speed characteristics

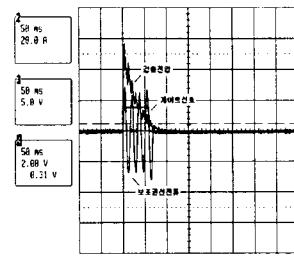
그림 11. 범용 기동기를 이용한 400 [W] 전동기의 특성

Fig. 11 Characteristics of 400 [W] SPIM using universal starting switch

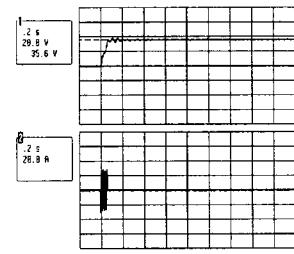
750 [W] 단상유도전동기의 특성은 그림 12에 나타내었으며 기준전압은 0.31 [V]이다. 0.31 [V] 이상일 때 트리거 전압 5 [V]가 게이트에 입력되고 0.31 [V]이하에서 0 [V]로 출력되어 보조권선이 제어됨을 알 수 있다. 정격속도에 도달하는 시간은 79.4 [ms], 보조권선 오프시간이 65.8 [ms]로 정격속도의 83 [%]에서 제어됨을 나타내고 있다.



(a) Characteristics



(b) Auxiliary winding control



(c) Speed characteristics

그림 12. 범용 기동기를 이용한 750 [W] 전동기의 특성

Fig. 12 Characteristics of 750 [W] SPIM using universal starting switch

제안한 범용 전자식 기동기는 간단히 프로그램화된 기준전압의 변화만으로 전동기의 용량에 맞는 기동기 설계가 가능하고 보조권선의 오프 시점을 조절하여 200 [W]는 정격속도의 45 [%], 400 [W]는 52 [%], 750 [W]는 83 [%]에서 보조권선이 오프되는 반면 기계식 기동기에 비해 향상된 특성을 보여 보조권선 전류의 절감을 가져올 수 있으며 안정된 운전을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

4. 결 론

기존의 콘덴서 기동형 단상유도전동기의 기계식 기동기인 원심력 개폐기는 기동시간이 불안정하고 기계적인 수명의 한계성으로 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 범용 전자식 기동기를 설계 제작하였으며 트라이액의 온-오프에 의한 보조권선 제어로 전동기의 기동이 확실히 이루어짐을 확인할 수 있었다. 또한 기계적인 문제점을 전자식 기동기로 대처하여 기동의 안정성을 유지하면서 여러 조건에서 안정적인 동작을 할 수 있고 프로그램의 기준전압의 변화로 기동시간의 조절이 가능하여 보조권선 전류의 절감을 가져올 수 있었다. 즉 범용 전자식 기동기를 사용하여 기계식 기동기에 비해 토조권선의 오프 시간을 짧게 설정하여 기동함으로써 보조권선 전류의 절감 효과도 얻을 수 있었다.

범용 기동기는 기계적인 접점부분이 없는 것으로 수명이 반영구적이고 빈번한 기동·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: 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.
- [5] R.W. Fei, Jerry D. Lloyd, Mark C. Dierkes: An Experimental Study of Single-Phase Induction Motor Starting Performance and its Dependency on Winding Harmonics, IEEE IAS Annual Meeting Conference, pp. 571~578, 1995.

저 자 소 개

임 흥 우 (林 洪 雨)



1972년 11월 12일생. 1998년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업. 2004년 현재 동대학원 박사과정수료,
한국전기전자시험연구원
Tel : 031-428-5625, Fax : 031-455-2925
E-mail : dyamond@keeti.re.kr



임 병 옥 (林 炳 玉)

1956년 23월 3일생. 1983년 조선대 전기공학과 졸업. 1984년 한국전기전자시험연구원 입사. 2003년 조선대 대학원 전기공학과 박사수료. 현재 한국전기전자시험연구원 재직
Tel : 031-428-7552, Fax : 031-455-7268
E-mail : limbo@keeti.re.kr



정 수 복 (鄭 壽 福)

1945년 1월 23일생. 1969년 조선대 전기공학과 졸업. 1980년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 현재 조선대학교 전기공학과 교수
Tel : 062-230-7027, Fax : 062-230-7020
E-mail : sbjung@chosun.ac.,kr



조 금 배 (曹 錦 培)

1954년 1월 18일생. 1980년 조선대 전기공학과 졸업. 1995년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1966년 6월~1987년 2월 미국 Univ. of Oklahoma 객원 연구원. 1988년 1월~1999년 2월 미국 oregon state Univ. 교환 방문교수. 2003년 현재 조선대학교 전기공학과 교수, 조선대 창업보육센터, 인터넷 창업보육 센터장. 전력전자학회 부회장
Tel : 062-230-7031, Fax : 062-230-7020
E-mail : gcho@chosun.ac.,kr



백 형 래 (白 亨 來)

1949년 5월 4일생. 1971년 조선대 전기공학과 졸업. 1992년 건국대 전기공학과 졸업(박사). 2001년 대한전기학회 기획이사, 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 부회장. 2003년 현재 조선대학교 전기공학과 교수.
Tel : 062-230-7030, Fax : 062-225-6072
E-mail : hnbaek@chosun.ac.,kr