

단상 유도전동기의 전자식 기동장치 개발

(A Development of an Electronic Starter for Single Phase Induction Motor)

정형우* · 김동희 · 백원식 · 김민희 · 송현직

(Hyeung-Woo Jeong · Dong-Hee Kim · Won-Sik Baik · Min-Huei Kim · Hyun-Jig Song)

요 약

본 논문에서는 단상 유도전동기의 전자식 기동장치 개발에 관해 연구하였다. 전자식 기동장치는 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 보조권선 회로에 장착된 원심력 스위치를 대체하기 위해 활용된다. 개발된 전자식 기동장치는 보조권선의 전압을 관측하여 전동기가 정격속도에 가까워지면 보조권선을 전원으로로부터 개방하는 역할을 수행한다. 범용 단상 유도전동기에 사용되고 있는 원심력스위치는 기계식 접점을 사용하기 때문에 접점에서 불꽃이 발생하고 전동기의 수명과 신뢰성을 저감시키는 요인이 된다. 개발된 전자식 기동장치는 무접점 반도체 스위치인 트라이악을 적용함으로써 전동기의 신뢰성과 특성이 개선될 수 있으며, 저전압 및 반복실험 등의 다양한 실험을 통해 신뢰성을 검증하였다.

Abstract

This paper presents a simple electronic starter for single phase induction motor (SPIM). It replaces the centrifugal switch in the auxiliary winding circuit of the capacitor start type SPIM. The electronic starter observes the auxiliary winding voltage, and disconnects the auxiliary winding when the motor gets close to its rated speed. Because of its possibly fluttering contacts of the centrifugal switch which mounted on the conventional SPIM, the reliability of SPIM can be reduced. Developed new electronic starter has no mechanical contacts. Therefore, the reliability and the performance of SPIM can be improved. The operational principle of the proposed electronic starter is explained, and illustrated with experimental results.

Key Words : Single-Phase Induction Motor, Electronic Starter, Centrifugal Switch

1. 서 론

소형 단상유도전동기는 저렴한 제작단가 및 견고함 등으로 인해 산업 및 가정용으로 널리 적용되고 있다. 단상 유도전동기는 구조적인 특성으로 인해 교번자계만이 발생하기 때문에 자체적으로 기동토크를 생성할 수 없으며, 별도의 기동장치를 필요로 한다[1-2]. 단상 유도전동기의 기동을 위해서는 원

* 주저자 : 영남대학교 산업대학원 전기전자공학과 석사과정
Tel : 053-636-4420, Fax : 053-631-0297

E-mail : jhw442@hanmail.net

접수일자 : 2008년 1월 28일

1차심사 : 2008년 2월 4일

심사완료 : 2008년 3월 7일

단상 유도전동기의 전자식 기동장치 개발

심력 스위치와 콘덴서를 보조권선에 연결하여 기동하는 콘덴서 기동방식이 널리 적용되고 있으나, 기계적인 기동방식의 원심력 스위치는 점점의 마모로 인해 전동기의 수명과 신뢰성을 저감시키는 주요원인이 되고 있다. 또한 점점에서 불꽃이 발생하기 때문에 가연성 가스나 위험물이 있는 장소에서는 화재가 발생할 수 있다는 단점이 있다. 원심력 스위치의 이러한 단점을 개선하기 위한 전자식 기동장치 개발에 관한 연구가 요구되고 있으며, 전력용 반도체 스위치를 적용하여 단상 유도전동기의 특성을 개선하기 위한 다양한 기법의 제어방식이 제안되고 있다 [3-7]. 그러나 제작단가 등의 측면에서 실용성이 부족하여 전자식 기동장치의 개발과 실용화에 어려움이 있다. 본 논문에서는 실용적인 측면을 고려하여 기존의 원심력 스위치를 대체할 수 있는 저가의 전자식 기동장치 개발에 관해 연구하였으며, 실험을 통해 신뢰성을 확인함으로써 적용가능성을 검증하였다.

2. 단상 유도전동기의 특성

2.1 콘덴서 기동형 단상 유도전동기

콘덴서 기동형 단상 유도전동기는 그림 1과 같이 기동토크를 생성하기 위해서 주권선에 대해 기계적으로 90° 의 위상차를 지닌 보조권선이 분포되어 있으며, 보조권선에는 직렬로 기동용 콘덴서와 원심력 스위치가 연결된다. 기동용 콘덴서는 주권선에 대해 90° 의 위상차를 지닌 전류가 보조권선에 흐르도록 하기 위해 장착되고, 원심력 스위치는

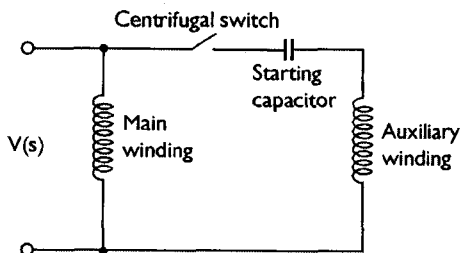


그림 1. 콘덴서 기동형 단상 유도전동기
Fig. 1. Capacitor start type SPIM

기동 완료 후 전원으로로부터 보조권선을 개방하기 위해 사용된다. 그림 2는 단상 유도전동기에 장착된 원심력 스위치와 기동용 콘덴서를 나타내고 있다.

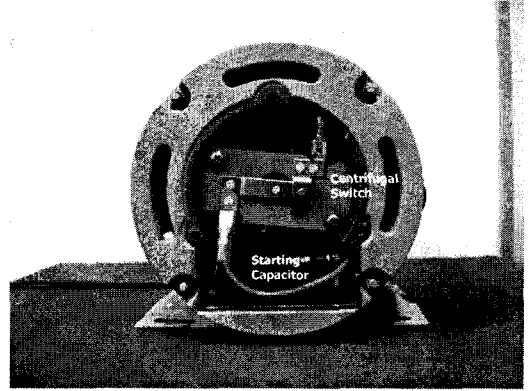


그림 2. 원심력 스위치와 기동용 콘덴서
Fig. 2. Centrifugal switch & starting capacitor

2.2 단상 유도전동기의 수학적 모델

콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 정지좌표계에서의 등가회로는 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며, 그림에서 V_{qs}^s 는 주권선 전압을 나타내고, V_{ds}^s 는 보조권선 전압을 나타낸다[2].

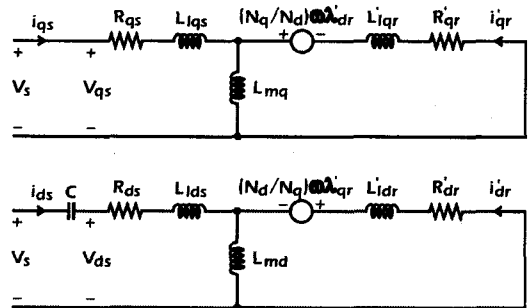


그림 3. 단상 유도전동기의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of a SPIM

보조권선 전압 V_{ds}^s 는 교류전원의 전압 V_s 와 기동용 콘덴서 양단의 전압 V_C 의 차에 해당되며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{ds}^s = V_s - \frac{1}{C} \int i_{ds}^s dt \quad (1)$$

그림 3의 등가회로부터 고정자 및 회전자 회로의 전압방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{qs}^s = \left(R_{qs} + \frac{p}{\omega_b} X_{qs} \right) i_{qs}^s + \left(\frac{p}{\omega_b} X_{mq} \right) i_{qr}^s \quad (2)$$

$$V_{ds}^s = \left(R_{ds} + \frac{p}{\omega_b} X_{ds} \right) i_{ds}^s + \left(\frac{p}{\omega_b} X_{md} \right) i_{dr}^s \quad (3)$$

$$0 = \left(\frac{p}{\omega_b} X_{mq} \right) i_{qs}^s - \left(\frac{N_a}{N_d} \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{md} \right) i_{ds}^s + \left(R'_{qr} + \frac{p}{\omega_b} X'_{qr} \right) i_{qr}^s - \left(\frac{N_a}{N_d} \frac{\omega_r}{\omega_b} X'_{dr} \right) i_{dr}^s \quad (4)$$

$$0 = \left(\frac{p}{\omega_b} X_{md} \right) i_{ds}^s + \left(\frac{N_d}{N_a} \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{mq} \right) i_{qs}^s + \left(R'_{dr} + \frac{p}{\omega_b} X'_{dr} \right) i_{dr}^s + \left(\frac{N_d}{N_a} \frac{\omega_r}{\omega_b} X'_{qr} \right) i_{qr}^s \quad (5)$$

또한 순시토크는 다음과 같이 표현된다.

$$T_e = \frac{P}{2} \frac{N_d}{N_a} \frac{X_{mq}}{\omega_b} (i_{qs}^s i_{dr}^s - i_{ds}^s i_{qr}^s) \quad (6)$$

3. 전자식 기동장치 설계

3.1 기존의 전자식 기동방식

콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 초기 기동 후 보조권선을 전원으로부터 분리하기 위해 장착되는 원심력 스위치는 접점의 마모로 인해 전동기 고장의 주요 원인이 된다. 빈번한 동작으로 인해 원심력 스위치의 접점이 마모되거나, 접점 사이에 이물질이 끼인 경우 전동기는 기동을 할 수 없게 되고 회전자에 구속된 상태에서 과전류가 흘러 전동기가 소손된다.

원심력 스위치의 이러한 단점은 무접점 방식의 전력용 반도체 스위치를 적용함으로써 개선될 수 있으며, 전력용 반도체 스위치를 통해 단상 유도전동기를 구동하는 제어방식이 제안되고 있다.

참고문헌 [3-6]에서는 그림 4와 같이 기동용 콘덴서에 병렬로 전력용 반도체 스위치를 연결하고, 주 권선과 보조권선의 전류를 검출하여 전류의 크기에 따라 스위칭을 통해 기동용 콘덴서의 유효 커패시턴스를 조정하는 방식이 제안되었다. 이 방식은 초기 기동과 함께 전동기의 속도제어도 가능하나, 기존의 원심력 스위치에 비해 비용이 많이 소요되므로 상용화에 어려움이 있다.

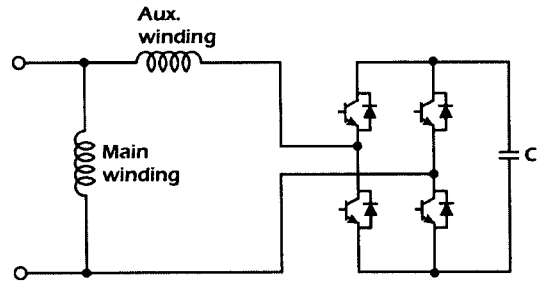


그림 4. 유효 커패시턴스 제어 방식
Fig. 4. Effective capacitance control type

참고문헌 [7]에서는 그림 5와 같이 기동용 콘덴서를 제거하고, 트라이악의 위상제어를 통해 기동토크를 발생하는 방식이 제안되었다. 제안된 방식은 회로 구성이 간단하다는 장점이 있으나, 보조권선에 위상 제어된 전압이 인가되므로 기동토크가 저감되는 단점이 있다.

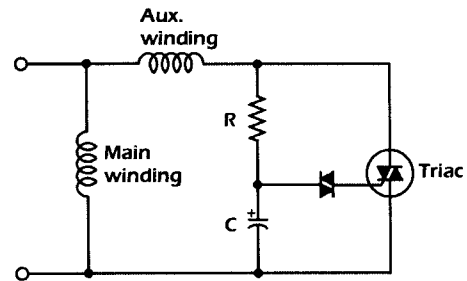


그림 5. 위상제어 방식
Fig. 5. Phase angle control type

3.2 보조권선의 전압관측을 통한 기동방식

전자식 기동장치는 실용적인 측면에서 제작비용이 저렴하고 수명이 길어야 하며, 빈번한 동작이나

단상 유도전동기의 전자식 기동장치 개발

입력전압이 낮은 경우에도 안정적으로 동작하여야 한다.

이러한 요구조건을 만족하기 위해 제어회로를 간략화 하고, 신뢰성이 높은 전자식 기동장치를 설계하였다. 본 논문에서 개발된 전자식 기동장치는 전동기의 회전속도가 증가함에 따라 커지는 보조권선의 전압을 관측하여, 비교기를 통해 보조권선의 전압이 설정된 전압 이상이 되면 전력용 반도체 스위치가 개방될 수 있도록 설계하였다.

그림 6은 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 보조권선 전압파형을 나타내고 있으며, 전동기가 정격속도에 가까워지면 보조권선 전압의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.

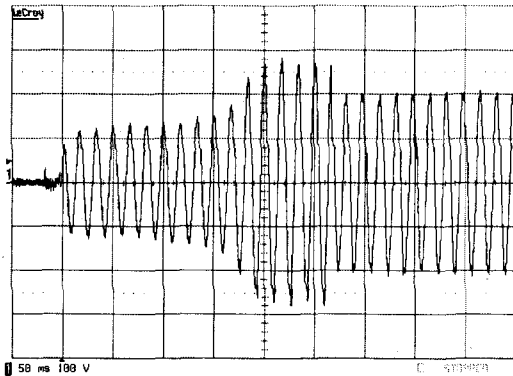


그림 6. 단상 유도전동기의 보조권선 전압파형
Fig. 6. Auxiliary winding voltage of SPIM

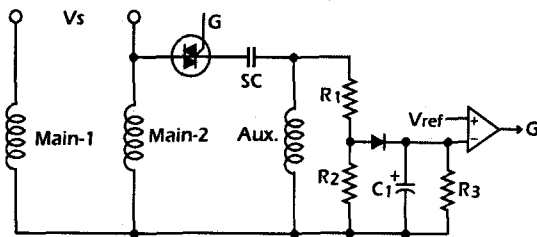


그림 7. 전자식 기동장치의 등가회로
Fig. 7. Equivalent circuit of the electronic starter

그림 7은 제안된 전자식 기동장치의 등가회로를 나타내고 있다. 현재 널리 적용되고 있는 소형 단상 유도전동기는 제작비용 저감 측면에서 기동용 콘덴서의 내전압을 낮추기 위해 보조권선이 주권선의 중

간탭에 연결된다. 보조권선의 전압은 고정자의 권선 수와 기동용 콘덴서의 크기 등에 따라 달라지므로, 전동기의 기동시간을 저항 R_1 과 R_2 의 크기를 통해 용이하게 조정될 수 있도록 구성하였다.

그림 8은 제작된 전자식 기동장치를 나타내고 있으며, 제작을 용이하게 하기 위해 하나의 케이스에 전자식 기동장치와 기동용 콘덴서를 장착하였다. 그림 9는 특성 실험을 위해 사용된 전자식 기동장치가 장착되어 있는 단상 유도전동기를 나타내고 있으며, 표 1은 전동기의 설계상수를 나타내고 있다.

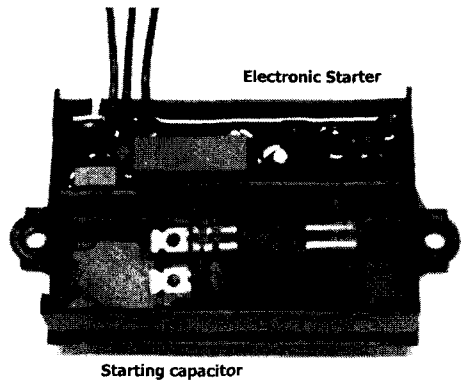


그림 8. 전자식 기동장치 및 기동용 콘덴서
Fig. 8. Electronic starter & starting capacitor

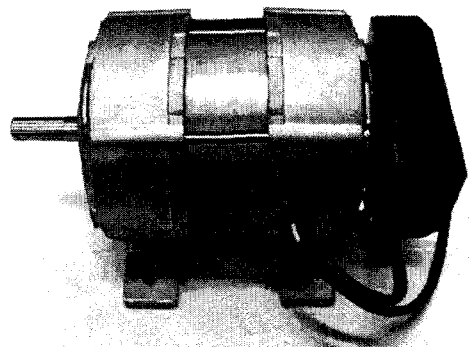


그림 9. 전자식 기동장치가 장착된 단상 유도전동기
Fig. 9. Single phase induction motor with an electronic starter

표 1. 단상 유도전동기의 설계상수
Table 1. Design parameters of SPIM.

극 수	4	정격출력	200[W]
정격속도	1,735[rpm]	정격토크	1.1[Nm]
정격전압	220[V]	정격전류	2.3[A]
권선저항	6.8/5.6[Ω]	주파수	60[Hz]
기동콘덴서	100[μF]	효율	64[%]

4. 시스템 구성 및 실험결과

개발된 전자식 기동장치를 4극 1/4마력 단상 유도 전동기에 적용하여 기동 특성을 검증하였다. 그림 10은 구성된 실험 장치를 나타내고 있으며, 부하토크는 Leroy Somer사의 3,000[rpm] 5[Nm] 정격의 FP 15/30 Powder Brake를 사용하여 제어하였다.

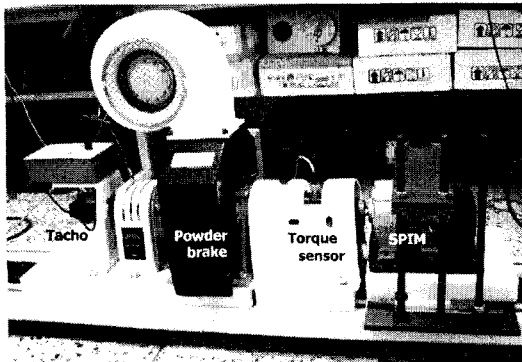


그림 10. 실험장치 구성도
Fig. 10. Experimental setup

그림 11과 12는 무부하와 정격부하시의 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 Reference는 비교기의 설정 전압을 나타내고 있으며, Feedback은 보조권선으로부터 측정된 전압을 나타내고 있다. 무부하와 정격부하에서의 게이트 스위칭 신호와 보조권선 전류파형을 통해 개발된 전자식 기동장치가 정상적으로 동작되고 있음을 알 수 있다.

그림 13은 정격부하시의 주권선 전압 및 전류파형을 나타내고 있으며, 그림 14는 정격부하시의 속도 파형과 보조권선 전압 및 전류파형을 나타내고 있다. 정격속도에 도달한 시점에서 보조권선이 전원으로 부터 개방되고 있음을 알 수 있다.

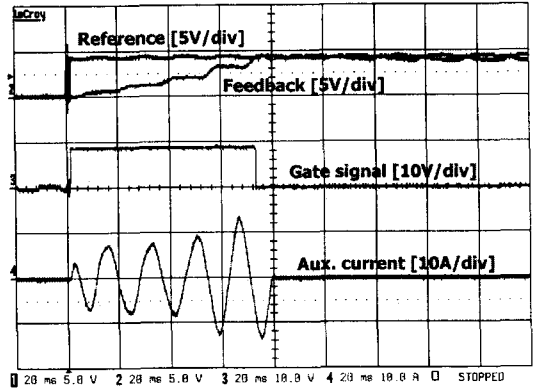


그림 11. 무부하시의 실험 결과
Fig. 11. Experimental result at no load

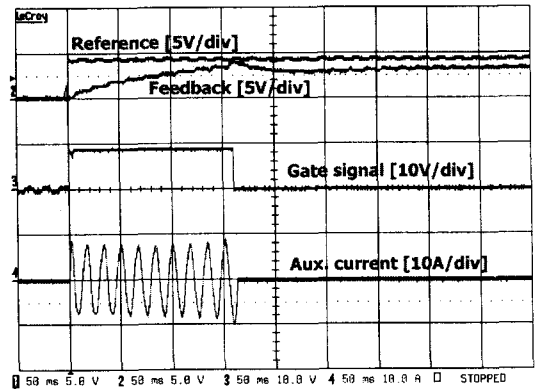


그림 12. 정격부하시의 실험 결과
Fig. 12. Experimental result at rated load

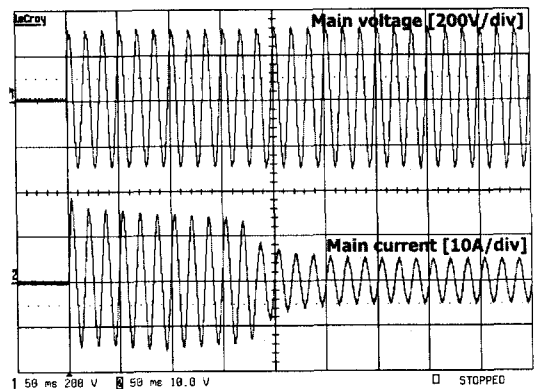


그림 13. 정격부하시의 주권선 전압, 전류파형
Fig. 13. Voltage & current waveforms at rated load

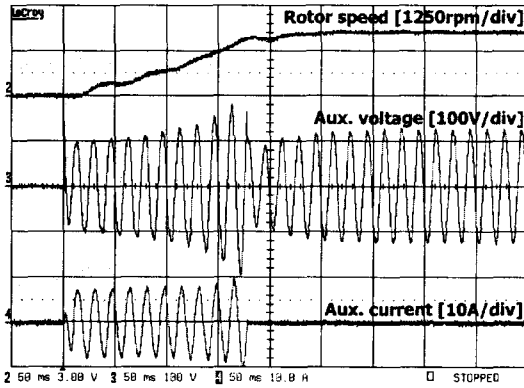


그림 14. 정격부하시의 속도 및 보조권선 전압, 전류파형
Fig. 14. Speed, voltage & current waveforms at rated load

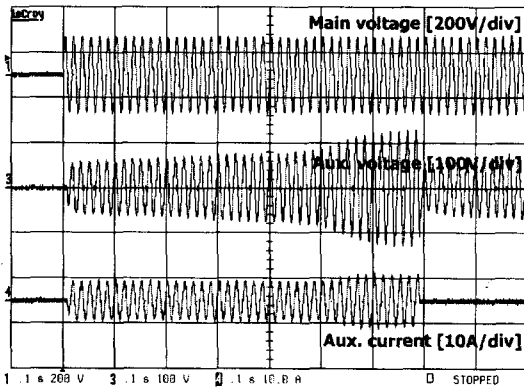


그림 15. 저전압 인가시의 전압, 전류파형
Fig. 15. Voltage & current waveforms at low input voltage

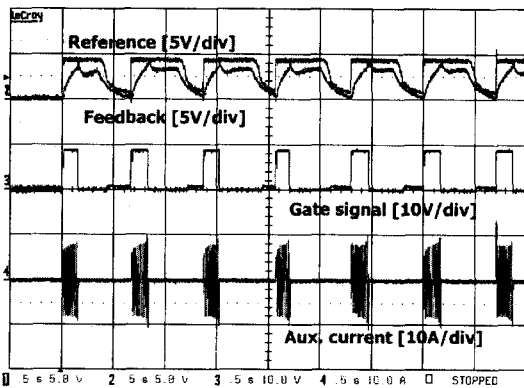


그림 16. 반복 동작 시험
Fig. 16. Repetitive operation test

그림 15는 120[V]의 저전압이 인가된 경우의 동작 특성을 나타내고 있으며, 입력전압이 낮은 경우에도 신뢰성 있는 동작이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 16은 반복동작 실험결과를 나타내고 있으며, 1 초 이내의 빈번한 구동에도 안정적으로 동작되고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 실용적인 측면을 고려하여 기존의 원심력 스위치를 대체할 수 있는 저가의 전자식 기동장치 개발에 관해 연구하였다. 제안된 전자식 기동장치는 전력용 반도체 스위치인 트라이아클을 적용하였으며, 보조권선의 전압을 관측하여 비교기를 통해 일정전압 이상이 되면 보조권선이 전원으로부터 개방될 수 있도록 구성하였다. 제작된 전자식 기동장치는 기존의 원심력 스위치에 비해 제작단가가 2 배정도 소요되었으나, 원심력 스위치에 비해 장착이 간단하기 때문에 인건비가 절감되어 제작비용측면에서 실용화가 가능할 것으로 사료된다. 또한 무접점 방식이므로 소음이 발생하지 않고, 저전압 및 반복실험 등의 다양한 실험을 통해 신뢰성을 검증하였다. 제작된 전자식 기동장치는 50,000회 이상의 반복 실험에서 신뢰성 있게 동작하였으며, 일반적으로 5,000회 이상의 동작이 보장되는 기존의 원심력 스위치에 비해 10배 이상의 수명 개선이 가능할 것으로 사료된다.

본 논문은 영남이공대학 전력응용기술연구센터의 연구 지원에 의하여 수행되었음.

References

- (1) C.G. Veinott, J.E. Martin, Fractional and subfractional horsepower electric motors, McGraw-Hill, 1986.
- (2) P.C. Krause, O. Wasynczuk, S.D. Suchoff, Analysis of Electric Machinery, IEEE Press, 1995.
- (3) A-R. A.M. Makky, Camal M. Abdel-Rahim, and Nabil Abd El-Latif, "A Novel DC Chopper Drive for a Single-Phase Induction Motor", IEEE Trans. on I.E., Vol. 42, No. 1, pp 33-39, Feb., 1995.
- (4) Tian-Hua Liu, "A Maximum Torque Control with a Controlled Capacitor for a Single-Phase Induction Motor",

IEEE Trans. on I.E., Vol. 42, No. 1, pp 17-24, Feb., 1995.

[5] T.A. Lettenmaier, D.W. Novotny, T.A. Lipo, "Single-Phase Induction Motor with an Electronically Controlled Capacitor", IEEE Trans. on I.A., Vol. 27, No. 1, pp 38-43, Jan./Feb., 1991.

[6] E. Muljadi, Y. Zhao, T.H. Liu, T.A. Lipo, "Adjustable ac Capacitor for a Single-Phase Induction Motor", IEEE Trans. on I.A., Vol. 29, No. 3, pp 479-483, May/June, 1993.

[7] R. Rabinovici, Z. Keller, "New Electronic Starter for Single Phase Induction Motors", IEEE Trans. on Mag., Vol. 32, No. 5, pp 5022-5024, Sep., 1996.

◆ 저자소개 ◆

정형우 (鄭亨愚)

1961년 10월 12일생. 2006년 경일대 전기공학과 졸업. 현재 영남대 산업대학원 전기전자공학과 석사과정. 신한모터 대표. 영남이공대학 겸임교수.

김동희 (金東熙)

1950년 11월 20일생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 Kobe 대학 졸업(박사). 1987~1989년 한국전기연구원 전력전자 연구부장. 본 학회 경상지부장. 2000년 9월 ~2001년 2월 Kyushu 대학 교환교수. 현재 영남대 공대 전기공학과 교수. 대한전기학회 대구·경북지부 지회장.

백원식 (白元植)

1970년 10월 20일생. 1996년 계명대 자연과학대학 수학과 졸업. 2002년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2008년 4월 ~현재 영남이공대학 전기자동화과 전임강사.

김민희 (金玟熙)

1951년 8월 25일생. 1974년 영남대 공과대학 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979년 3월 ~현재 영남이공대학 전기자동화과 교수. 1993년 7월 ~1995년 8월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 전력전자응용연구센터(PEAC) 연구교수. 1996년 8월 IECON '96 최우수논문상 수상. 1998~2006년 전력전자학회 이사, 부회장, 감사, 전동력응용연구회 위원장 역임. 현재 본 학회 평의원.

송현직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 2월 영남대 공과대학 전기공학과 졸업. 1993년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년 ~현재 영남이공대학 전기자동화과 조교수. 현재 한국조명·전기설비학회 대구경북지회 이사 및 본부 편수위원.