

직접토크제어에 의한 위치검출기 없는 리럭턴스 동기전동기의 고성능 제어시스템

金 玟 會*, 金 男 燾, 白 元 植

A High-Performance Position Sensorless Control System of Reluctance Synchronous Motor with Direct Torque Control

Min-Huei Kim, Nam-Hun Kim, and Won-Sik Baik

요 약

본 논문은 직접토크제어에 의한 리럭턴스 동기 전동기의 위치센서 없는 고성능 제어시스템을 제안한다. 이 시스템은 고정자 자속관측기, 속도/토크 관측기, 두 개의 디지털 히스테리시스 제어기, 최적 스위칭 룩업 테이블, IGBT 전압형 인버터, 그리고 TMS320C31 DSP보드로 구성된다. 넓은 속도 범위에서의 안정된 응답특성을 얻기 위해서 전동기 단자에서 얻어진 전압과 전류를 사용하는 폐루프 자속관측기를 사용하였다. 개발된 고성능 속도제어 시스템의 동특성을 검증하기 위해서 1.0[kW] 리럭턴스 동기 전동기를 사용하여 시뮬레이션과 실험을 수행한 결과 저속영역과 고속영역 모두 우수한 동특성을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

This paper presents an implementation of digital high-performance position sensorless control system of Reluctance Synchronous Motor(RSM) drives with Direct Torque Control(DTC). The system consists of stator flux observer, speed and torque estimator, two digital hysteresis controllers, an optimal switching look-up table, Insulated Gate Bipolar Transistor(IGBT) voltage source inverter, and TMS320C31 DSP board. The stator flux observer is based on the combined voltage and current model with stator flux feedback adaptive control of which inputs are current and voltage sensed on motor terminal for wide speed range. In order to prove the suggested sensorless control algorithm for industrial field application, we have some simulation and actual experiment at low and high speed range. The developed high-performance speed control by fully digital system are shown a good response characteristic of control results and high performance features using 1.0[kW] RSM having 2.57 reluctance ratio of L_d/L_q .

Key Words : DTC, RSM, Position Sensorless Control, Stator Flux, Speed and Torque Observer

1. 서 론

급속도로 발전되고 있는 산업분야에서 서보구동용

제어시스템은 고도의 정밀도와 빠른 응답특성을 갖는 시스템이 필수적이다. 이를 위해 속도검출기나 위치검출기를 사용한 교류전동기에 벡터제어 이론을 도입한 제어시스템이 여러 분야에서 많이 적용되고 있다. 하지만, 이러한 속도 검출기나 위치 검출기는 시스템을 복잡하게 하고 가격과 유지비를 증가시키며 기계적 강인성과 신뢰성을 떨어뜨릴 뿐 아니라 적용 환경에 따라 존재하는 잡음에 매우 취약하고, 벡터제어 역시 난해하고 많은 연산이 요구되는 제어 알고리즘으로 인하

*영남이공대학 전기전자계열 교수

E-mail : mhkim@ync.ac.kr

접수일자 : 2001.10.15

1차심사요청일: 2001.10.20 2차심사요청일: 2001.11.13

심사완료일 : 2002. 1.17

여 필수적으로 복잡한 하드웨어와 고속의 프로세서를 사용하여야만 구현이 가능하였다. 그래서 속도 검출기나 위치 검출기를 사용하지 않으면서 제어기법이 간단한 알고리즘에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[4].

최근에는 제어구조가 디지털 형태로 아주 단순하면서 벡터제어에서처럼 많은 제어기와 복잡한 연산을 요구하지 않고, 토크의 동적 특성이 전동기의 정수변화에 영향이 적으며, 록 업 테이블에 의하여 직접 전동기의 토크와 고정자 자속을 독립적으로 제어 할 수 있는 직접 토크제어 구동 시스템에 대한 연구에 관심이 집중되고 있다^[5-12].

고성능 제어용 전동기로는 유도전동기와 동기전동기가 산업용으로 많이 적용되고 있으나, 유도전동기는 복잡한 제어 알고리즘으로 구현에 어려움이 따르며, 동기전동기는 회전자에 영구자석을 사용함으로 인한 가격상승과 구조적인 문제점이 따르게 된다. 최근 경제적인 측면에서 저렴하며, 정밀 속도제어가 용이한 리럭턴스 동기전동기(RSM, Reluctance Synchronous Motor)가 산업의 발전과 제작기술의 향상으로 유도전동기에 버금가는 특성을 가지는 전동기가 개발 제작되어 연구에 이용되고 있다. 이 전동기의 회전자는 유도전동기 형태를 가지면서 영구자석을 사용하지 않고 회전자의 자기적 돌극성에 따라 발생하는 동기 리럭턴스 토크에 의해 구동되는 원리로, 두 전동기의 장점을 동시에 가진다.

이에 따라 본 연구에서는 유도전동기의 구조로서 영구자석 동기전동기의 특성을 가지는 미래 지향적인 리럭턴스 동기전동기를 직접토크제어(DTC, Direct Torque Control) 방식을 적용하여 위치검출기 없이 고성능 정밀제어를 할 수 있는 제어 알고리즘을 제시하고, 이 알고리즘에 의하여 디지털제어 시스템으로 정밀제어를 구현하는데 있다^[13-17].

일반적으로 전동기 제어시스템은 저속영역에서 부하 맥동에 따른 고성능 운전특성을 얻기가 어렵다. 이를 해결하기 위하여 넓은 영역에서 안정되고 우수한 특성이 얻어지는 고정자 자속 피드백 형 자속 추정기를 적용하여 고정자 자속과 토크를 직접 제어하여 빠른 응답특성이 이루어지는 직접 토크제어에 의한 위치검출기 없는 리럭턴스 동기전동기의 정밀 속도제어시스템을 제시하였다. 제시된 제어알고리즘과 시스템의 운전 특성은 시뮬레이션을 통하여 파라미터의 결정과 타당성을 입증하였으며, 실험 및 연구용으로 설계 제작된 회전자의 리럭턴스비(Ld/Lq)가 2.57인 1.0Kw, 리럭턴

스 동기전동기를 적용하여, TI사의 TMS320C31 DSP 제어기와 IGBT 전압형 인버터에 의해 구동되는 제어 시스템에서 속도제어의 응답특성을 고찰한 결과 우수한 특성의 고성능 제어가 얻어짐을 확인하였다.

2. RSM의 특성과 제어

2.1 RSM 구조 및 특성

정밀용 고성능 전동기제어 분야에서는 비동기형인 유도기로부터 동기형 전동기로 전환이 급속하게 진행되고 있다. 동기전동기는 회전자 구조에 따라 표면 부착형 영구자석 동기전동기(SPMSM, Surface mounted Permanent Magnet Synchronous Motor)와 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM, Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) 및 리럭턴스 동기전동기(RSM, Reluctance Synchronous Motor)로 크게 분류된다. 표면 부착형 영구자석 동기기와 매입형 영구자석 동기기는 영구자석의 자계를 이용함으로 소형 고효율 전동기로 널리 이용되고 있으나 가격상승과 영구자석을 사용함으로 인한 문제점이 대두되고 있다. RSM은 영구자석을 사용하지 않고 회전자의 자기적 돌극성에 의해 발생하는 리럭턴스 토크를 이용한 전동기이므로 가격적인 면과 정밀속도제어가 용이하다는 장점으로 인하여 최근 관심이 집중되고 있다. RSM의 고정자 구조는 농형 유도전동기와 유사한 형태이며, 회전자는 구조에 따라 분절형(segmental)과 자속장벽형(Flux barrier) 및 축이방향 적층형(ALA, Axially laminated anisotropic)으로 크게 구분된다^[10].

본 연구에 적용된 전동기의 회전자는 자속장벽형과 ALA형의 복합형태로 제작된 것을 사용하였다. 이 전동기의 장점은 공급되는 전압의 주파수에 따라 동기속도로 회전되며, 회전자에 전류가 흐르지 않기 때문에 회전자 손실이 적으며, 기동을 목적으로 회전자에 도체나 권선이 요구되지 않는 것이다. 일반적으로 리럭턴스 동기전동기의 고정자는 3상 대칭 정현파 분포 권선법이 채용되고 있으며, 회전자는 유도전동기의 형태로 비동기로 기동되어 정상상태에서는 오픈루프모드 동기화된 속도로 운전되는 특성을 가진다. 이 전동기는 저가의 가격으로 쉬운 동기화 속도를 얻는데 비해서, 회전자 설계시 제한된 L_d/L_q 비에 의하여 역율과 출력 토크가 낮은 단점을 가진다. 최근 리럭턴스 비를 증가시키는 구조의 회전자에 대한 연구로 유도전동기에 버금가는 정도의 역율과 출력토크가 얻어지고 있다^[10].

2.2 전압 및 토크방정식

리액턴스 동기전동기의 벡터도는 그림 1에서 보여주고 있으며, 그림 2는 d-q 모델의 등가회로이다. R_m에서 발생하는 철손과 자기포화를 무시하면, 리액턴스 동기전동기의 전압방정식과 운동방정식은 회전자 동기 좌표계의 d-q 모델로, 다음 (1)과 (2)식으로 표시되며, 토크는 식 (3)으로 유도된다. 또한 자속은 식 (4)와 (5)로 표시되며, 역율은 식 (6)으로 된다. 여기서 Φ_{ds} 와 Φ_{qs} 는 d축 및 q축의 고정자 자속, J는 관성모멘트, T_L은 부하토크, B는 마찰계수, L_{ls}, L_{md}와 L_{mq}는 고정자 누설자속과 d축 및 q축의 자기 인덕턴스이며, R_s는 상당 고정자 저항이다. 또한 각 부분의 작은 그림 1에서 나타내었다.

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d \Phi_{ds}}{dt} - \omega_r \Phi_{qs} \quad (1)$$

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d \Phi_{qs}}{dt} + \omega_r \Phi_{ds}$$

$$\frac{d \omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - T_L - B\omega_r) \quad (2)$$

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P}{2}\right) (\Phi_{ds} I_{qs} - \Phi_{qs} I_{ds}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{ds} &= L_{ls} I_{ds} + L_{md} I_{ds} = L_d I_{ds} \\ \Phi_{qs} &= L_{ls} I_{qs} + L_{mq} I_{qs} = L_q I_{qs} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} |\Phi_s| &= \sqrt{\Phi_{ds}^2 + \Phi_{qs}^2} \\ &= I_s \sqrt{(L_q)^2 \sin^2(\gamma) + (L_d)^2 \cos^2(\gamma)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\cos \phi = \cos(\delta' + \pi/2 - \gamma) \quad (6)$$

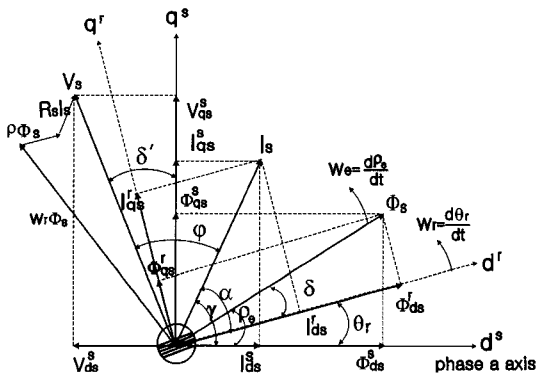


그림 1 RSM의 벡터도
Fig. 1 Vector diagram of a RSM

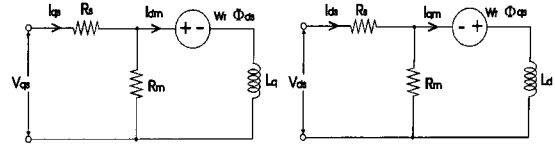


그림 2 RSM의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of a RSM

2.3 RSM 제어

식 (3)에서 보는 것처럼, 토크는 고정자 전류벡터 I_s의 크기와 변위각 γ에 의존됨을 알 수 있다. 그러므로 RSM의 출력 토크는 고정자 전류의 즉각적인 변화에 대응되며, 이는 유도전동기의 벡터제어에서처럼 선형적인 우수한 동적 응답특성을 얻기 위하여 일정한 자속을 유지할 필요가 없음을 의미한다. 또한 부하변화에 따라 고정자 자속을 변화시키므로 전류에 대한 토크의 비를 최대화 할 수 있다.

RSM 제어시스템은 전동기의 토크와 자속 및 속도를 제어하는 것이다. 일반적으로 γ를 일정하게 제어하는 기법은 고속영역과 큰 토크가 요구되는 시스템에서 장점을 가지는 것으로, 최대 토크제어를 위해서는 γ=π/4 (45°)로 유지되도록 제어하며, 토크의 최대 변화율은 γ= Arc Tan(L_d/L_q) 일 때 얻어지며, 최대 역율제어는 γ= Arc Tan √(L_d/L_q) 일 때 얻어진다. γ를 가변시키는 기법은 저속영역과 낮은 토크제어가 요구되는 시스템에서 장점을 가지며, I_{ds} 전류는 일정하게 유지하고 I_{qs} 전류는 토크에 따라 γ를 제어한다. d축 인덕턴스 L_d는 과부하 시에는 전류가 증가하고 자기포화의 영향이 크게 일어나므로 급격히 저하된다. 또한 부하 전류가 증가하면 전류 위상각 γ가 증가하여 45°보다 크게 된다^[16].

직접 토크제어에 의한 리액턴스 동기전동기의 고성능 제어에서는 회전자 위치 또는 자속의 정보가 필수적으로 요구된다. 이들을 얻는 방법에 따라, 고정자의 단자전압과 전류를 사용하여 고정자 쇄교자속 공간벡터의 속도를 추정하는 방법, 단자전압이 포함하고 있는 포화된 제3고조파 성분을 사용하여 추정하는 방법, 인덕턴스 변화를 이용하여 추정하는 방법, 칼만필터 등 관측기를 사용하여 추정하는 방법, 퍼지-뉴럴회로를 이용하여 추정하는 방법들이 적용되고 있으며, 전동기의 파라메타는 R_s와 L_d 및 L_q의 3개가 사용된다.

본 연구에서는 전동기 단자로부터 얻어진 전압과 전류를 사용하여 고정자 쇄교자속 공간벡터를 추정하는 방법을 적용한다.

3. 고정자 자속 관측기

그림 3은 본 연구에서 적용된 넓은 속도 제어범위에서 우수한 특성이 얻어지는 폐루프 전압전류 모델로, 안정된 자속을 얻기 위하여 고정자 자속을 피드백하여 적용하는 자속 관측기를 보여주고 있으며, 토크와 속도 관측기도 함께 나타내고 있다.

수식 (7)~(11)은 자속관측기 각 부분의 수식을 나타내고 있다^[7]. 여기서 Φ_{qds}^s 는 고정자 자속, Φ_{qdr}^r 은 회전자 자속, I_{qds}^s 는 고정자 전류, I_{qdr}^r 는 회전자 전류, R_s 는 고정자 저항 그리고 θ_r 은 회전자 각도를 나타낸다.

$$I_{qdr}^r = \text{Exp}(-j\theta_r) I_{qds}^s \quad (7)$$

$$\Phi_{qdr}^r = L_{qd} I_{qdr}^r \quad (8)$$

$$\Phi_{qds}^s = \Phi_{qdr}^r \text{Exp}(j\theta_r) \quad (9)$$

$$\Phi_{qds}^s = \int [(V_{qds}^s - R_s I_{qds}^s) + \varepsilon_\phi (K_P + \frac{K_I}{P})] dt \quad (10)$$

$$\varepsilon_\phi = (\Phi_{qds}^{s*} - \Phi_{qds}^s) \quad (11)$$

수식 (12)~(16)은 속도 관측기의 각 부분의 수식을 나타내고 있다^[7]. 여기서 γ 는 고정자 전류의 각, α 는 회전자와 고정자 전류사이의 각, ρ_e 는 고정자 자속의 각, δ 는 회전자와 고정자 자속사이의 각 그리고 ω_r 는 회전자의 속도를 나타낸다.

$$I_{qds}^s = I_{qdr}^r \text{Exp}(j\theta_r) = |I_s| \text{Exp} j(\alpha + \theta_r) = |I_s| \text{Exp}(j\gamma) \quad (12)$$

$$\Phi_{qds}^s = \Phi_{qdr}^r \text{Exp}(j\theta_r) = |\Phi_s| \text{Exp} j(\delta + \theta_r) = |\Phi_s| \text{Exp} j(\rho_e) \quad (13)$$

$$\rho_e = \delta + \theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{\Phi_{qs}^s}{\Phi_{ds}^s} \right) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sin^{-1} \left(\frac{\Phi_{qs}^r}{|\Phi_s|} \right) \\ &= \sin^{-1} \left[\frac{L_q I_{qs}}{\sqrt{(L_d I_{ds}^r)^2 + (L_q I_{qs}^r)^2}} \right] \\ &= \left(\frac{1}{2} \right) \sin^{-1} \left[\frac{(\frac{4}{3P})(L_d L_q) T_e}{|\Phi_s|^2 (L_d - L_q)} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} = \frac{d\rho_e}{dt} - \frac{d\delta}{dt} \quad (16)$$

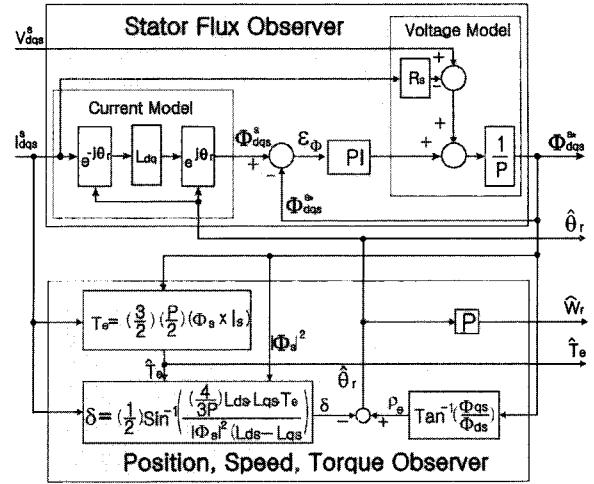


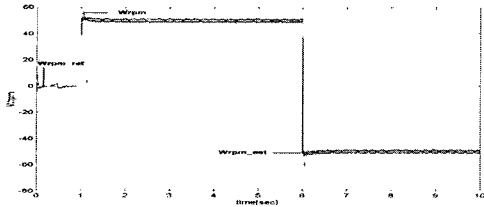
그림 3 RSM의 고정자 자속, 위치, 속도 및 토크관측기
Fig. 3 Stator flux, position, speed and torque observer for RSM

4. RSM의 직접 토크제어

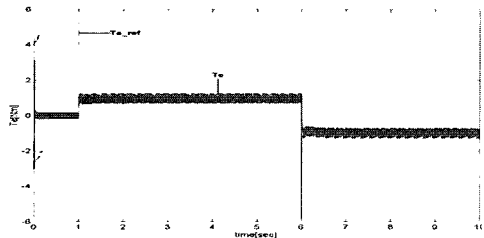
4.1 직접 토크제어의 특성

동기전동기의 직접 토크제어는 인버터에 가해지는 최적 스위칭 모드 선택에 의하여 전동기에 공급되는 단자전압제어에 의하여 이루어지므로 직접적으로 고정자의 자속과 발생하는 토크를 서로 독립적으로 제어할 수 있다. 빠른 토크응답과 낮은 인버터 스위칭 주파수 및 적은 고조파 손실을 얻기 위하여 요구되는 스위칭 모드 선택은 고정자의 자속과 토크의 히스테리시스 밴드 안에서 오차 제한에 의하여 만들어지며, 이때 토크는 고정자의 쇄교자속 벡터를 제어함으로써 빠르게 변화시킬 수 있다. 이에 따라 직접토크제어 방식은 전동기의 빠른 토크응답과 유연성 있는 제어를 이룰 수 있다. 이 기술의 주 장점은 제어구조가 디지털 형태로 아주 단순하다는 것이며, 토크의 동적 특성이 전동기 회전자의 파라미터 변동에 영향이 적으며, 많은 제어기의 채용과 복잡한 알고리즘 계산에 요구되는 연산시간을 감소시킬 수 있는 특징을 가지고 있어 빠른 동적 응답특성이 요구되는 시스템에 큰 장점을 가지는 제어방식이다^[6,9,18,19]. 일반적으로 고정자 자속의 크기는 가능한 정상적인 안정상태로 유지하고 토크는 고정자와 회전자 사이의 각에 의하여 제어된다.

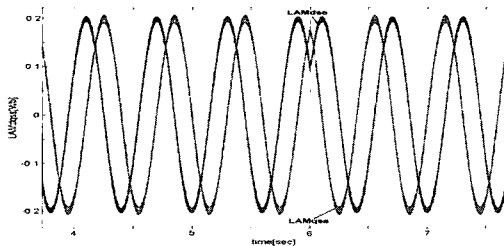
특성, (b) 토크제어 응답특성, (c)는 d-q축 고정자 자속의 응답파형을 보여준 것이다.



(a) 속도제어 응답특성
(a) Response characteristics of speed control



(b) 토크제어 응답특성
(b) Response characteristics of torque control

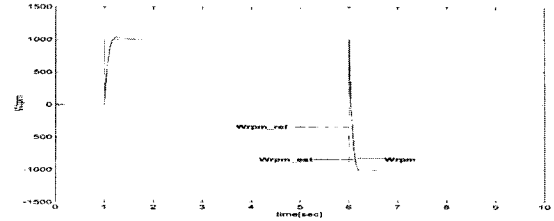


(c) d-q축 고정자 자속파형
(c) Stator flux waveform of d-q axes

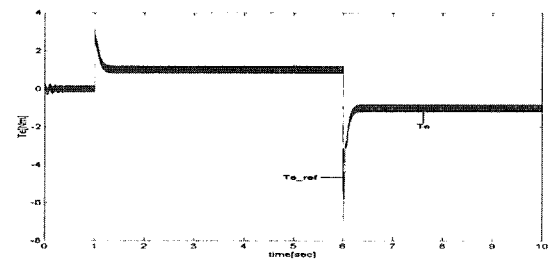


(d) 고정자 자속의 리사쥬 도형
(d) Lissajous figure for stator flux

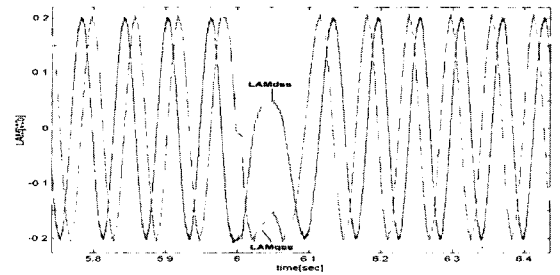
그림 5 ±50rpm에서 제시된 시스템의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results of proposed drive system at ±50rpm



(a) 속도제어 응답특성
(a) Response characteristics of speed control



(b) 토크제어 응답특성
(b) Response characteristics of torque control



(c) d-q축 고정자 자속파형
(c) Stator flux waveform of d-q axes

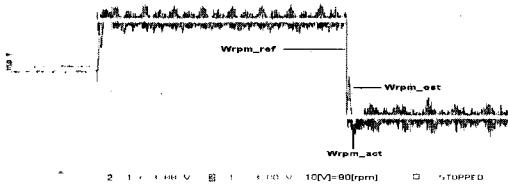
그림 6 ±1000rpm에서 제시된 시스템의 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results of proposed drive system at ±1000rpm

7. 실험 결과

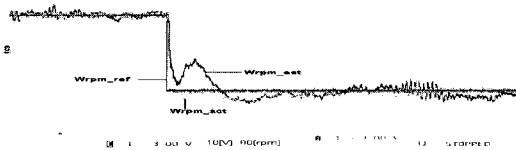
7.1 실험결과

그림 7은 본 연구에서 제안하는 RSM 고성능 제어 시스템의 저속영역인 ±50rpm (0 - +50 - -50)의 정역 운전에서 속도제어의 실험결과를 보여준 것이다. 부하 제어장치는 Leroy Somer사의 FP.15/30 파워더 브레이크 동력제어 장치를 사용하였으며, 토크는 CAP. COL 를 사용하여 전동기 축에서 토크센서를 통해서 직접 측정하였다. 이때 전동기의 특성을 고려하여 1/4부하를

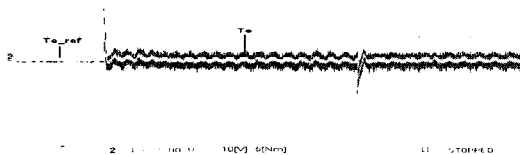
인가하여 실험을 실시하였다. (a)는 속도제어 응답특성, (b) 과도상태의 확장된 속도제어 응답특성, (c) 토크제어 응답특성, (d) 고정자 자속파형, (e) d-q축 고정자 전류파형, 그리고 (f)는 고정자 자속의 리사쥬 도형을 보여주고 있다.



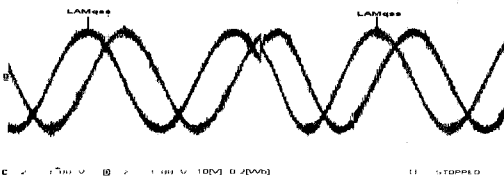
x축 = 1sec/div, y축 = 27rpm/div
 (a) 속도제어 응답특성(27rpm/div)
 (a) Response characteristics of speed control



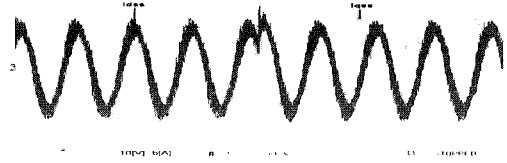
x축 = 0.1sec/div, y축 = 27rpm/div
 (b) 과도상태에서 확장된 속도응답
 (b) Expanded speed response in transient state



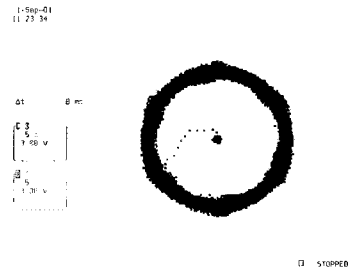
x축 = 1sec/div, y축 = 1.5Nm/div
 (c) 토크제어 응답특성
 (c) Response characteristics of torque control



x축 = 1sec/div, y축 = 0.06Wb/div
 (d) 과도상태에서 d-q축 고정자 자속파형
 (d) Stator flux waveform of d-q axes in transient state



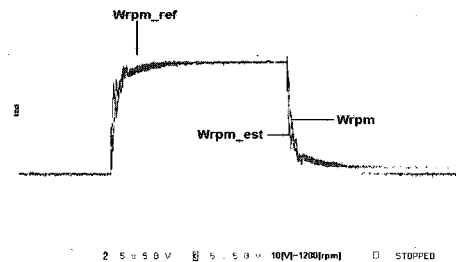
x축 = 1sec/div, y축 = 2A/div
 (e) d-q축 고정자 전류파형
 (e) Stator current waveform of d-q axes



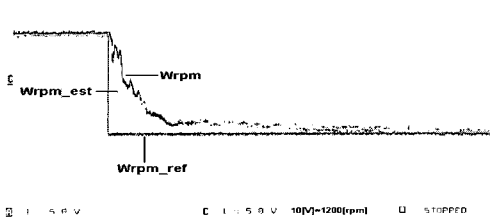
x축 = 1sec/div, y축 = 0.06Wb/div
 (f) 고정자 자속의 리사쥬 도형
 (f) Lissajous figure for stator flux

그림 7 ±50rpm에서 제시된 구동시스템의 실험결과
 Fig. 7 Experiment results of proposed drive system at ±50rpm

그림 8은 전부하 인가상태에서 고속영역인 ±1000 rpm (-1000 - +1000 - -1000)의 정역운전에서 속도제어의 실험결과를 보여준 것이다. (a) 속도제어 응답특성, (b) 과도상태인 +1000에서 -1000rpm으로 변화될 때 확대한 속도응답 특성, (c) 토크제어 응답특성, (d) 정상상태에서 d-q축 고정자 자속파형, (e) 과도상태에서 정역운전시 확대된 d-q축 고정자 자속의 파형, 그리고 (f)는 정상상태에서 d-q축 고정자 전류파형을 보여준 것이다.

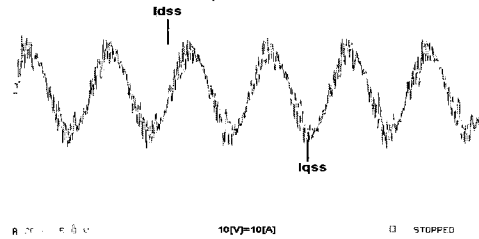


x=0.5sec/div, y=600rpm/div
 (a) 속도제어 응답특성
 (a) Response characteristics of speed control



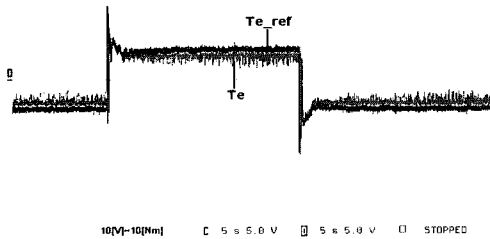
x=0.1sec/div, y=600rpm/div

- (b) 과도상태에서 확장된 속도응답
- (b) Expanded speed response in transient state



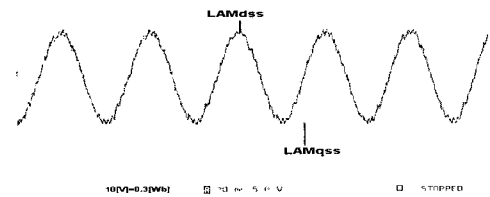
x=20msec/div, y=5A/div

- (f) d-q축 고정자 전류파형
- (f) Stator current waveform of d-q axes



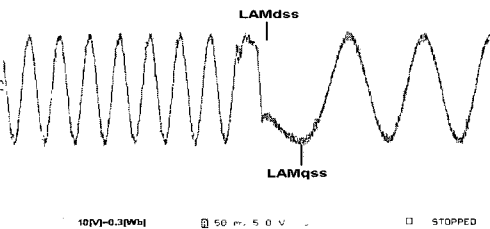
x=0.5sec/div, y=5Nm/div

- (c) 토크제어 응답특성
- (c) Response characteristics of torque control



x=20msec/div, y=0.15Wb/div

- (d) 정상상태에서 d-q축 고정자 자속파형
- (d) Stator flux waveform of d-q axes in steady state



x=50msec/div, y=0.15Wb/div

- (e) 과도상태에서 확장된 d-q축 고정자 자속파형
- (e) Expanded stator flux of d-q axes in transient state

그림 8 ±1000rpm에서 제시된 구동시스템의 실험결과
Fig. 8 Experiment results of proposed drive system at ±1000rpm

7.2 결과 검토

본 연구에서 실험 및 연구목적으로 설계 제작된 d-q축의 리액턴스 비가 $L_d/L_q = 2.57$ 인 전동기에 정격 속도에서 정격부하를 인가하였을 때, 제시된 직접토크 제어에 의한 RSM의 속도제어 시스템은 시뮬레이션 결과와 실 시스템 구성에 의한 실험에서 얻어진 결과는 거의 일치됨이 확인되었으며, 일반적으로 저속영역인 ±50rpm에서 보다 고속영역인 ±1000rpm에서 더 우수한 특성이 얻어 짐을 보여주고 있다. 또한 제시된 시스템은 속도제어에서 빠른 응답특성과 정밀한 제어 특성이 얻어짐이 확인되었다. 그러나 시뮬레이션 결과는 물론 실험결과에서도 토크응답특성은 리플이 크게 됨을 보여주고 있는데 이는 직접토크제어 기법이 가지는 결점으로 사료되며 앞으로 해결되어야 할 연구과제이다.

8. 결론

급속도로 발전되고 있는 산업분야에서 정밀구동용 제어시스템은 고도의 정밀도와 빠른 응답특성을 갖는 시스템이 필수적이다. 이를 위해 속도검출기나 위치검출기를 사용한 교류전동기에 벡터제어 이론을 도입한 제어시스템이 많이 적용되고 있다. 그러나 벡터제어에 의한 검출기 있는 시스템은 복잡하고, 가격과 유지비를 증가시키며, 기계적 강인성과 신뢰성을 떨어뜨릴 뿐 아니라 적용 환경에 따라 존재하는 잡음에 매우 취약하고, 많은 연산이 요구되는 제어 알고리즘으로 인하여 필수적으로 복잡한 하드웨어와 고속의 프로세서를 사용하여야만 구현이 가능하였다. 또한 고성능 제

어용 전동기로는 유도전동기와 동기전동기가 산업용으로 많이 적용되고 있으나, 유도전동기는 복잡한 제어 알고리즘으로 구현에 어려움이 따르며, 동기전동기는 회전자에 영구자석을 사용함으로써 가격상승과 구조적인 문제점이 따르게 된다.

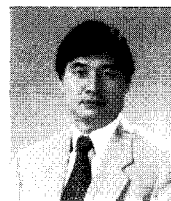
이에 따라 본 연구에서는 유도전동기의 구조로서 영구자석 동기전동기의 특성을 가지는 미래 지향적인 리럭턴스 동기전동기를 직접토크제어 방식을 적용하여 위치검출기 없이 고성능 정밀제어를 할 수 있는 제어 알고리즘을 제시하고, 이 알고리즘에 의하여 속도제어 범위가 넓은 위치센서 없는 동기 리럭턴스 전동기의 디지털 속도제어 시스템을 구현하였다. 제시된 제어시스템의 응답특성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 실시하였으며, 실험결과 제시된 알고리즘과 구동 시스템은 정격부하에서 $\pm 50\text{pm}$ 의 저속영역과 $\pm 1000\text{rpm}$ 의 고속영역에서도 정역 운전의 우수한 동적 특성이 얻어짐을 확인하였다.

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2001-1-302-00-021-2)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Min-Huei Kim, Nam-Hun Kim, Min-Ho Kim, and Dong Hee Kim, "An Induction Motor Position Control System with Direct Torque Control", Proceedings of the ISIE 2001, pp. 771~774, June 2001.
- [2] 김민회, 김남훈, "DSP를 이용한 유도전동기 디지털 제어 시스템", 한국산업응용학회 논문집, Vol. 3, No. 1, pp. 9~15, 2000.
- [3] 김민회, 김남훈, 김민호, "직접 토크 및 자속 제어에 의한 유도전동기의 위치제어 시스템", 대한전기학회 논문집, 제 49권, 제2호, pp. 22~28, Oct. 2000.
- [4] Technosoft Co., DSP Digital Motion Controller DMCS-ac Toolbox, 1998.
- [5] Jehudi Maes and Jan A. Melkebeek, "Speed sensorless Direct Torque Control of Induction Motors Using an adaptive flux observer", IEEE Trans. on I.A., Vol. 36, No. 3, pp. 778~785, May/June 2000.
- [6] Cristial Lascu, Ion Boldea, and Fred Blaabjerg, "A modified Direct Torque Control for Induction Motor Sensorless Drive", IEEE Trans. on I.A., Vol. 36, No. 1, pp. 122~130, Jan. 2000.
- [7] Bimal K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives, IEEE Press, 1997.
- [8] Peter Vas, Sensorless Vector and Direct Torque Control, Oxford Press, 1998.
- [9] Ion Boldea and S. A. Nasar, Electric Drives, CRC Press, 1999.
- [10] Ion Boldea, Reluctance Synchronous Machines and Drives, Oxford Science, 1996.
- [11] Peter Vas, Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives, Oxford Press. 1999.
- [12] Rolf Lagerquist, Ion Boldea, and T. J. E. Miller, "Sensorless Control of the Synchronous Reluctance Motor", IEEE Trans. on I.A., Vol. 30, No. 3, pp. 673~682, May 1994.
- [13] Hyeoun-Dong Lee, Seog-Joo Kang, and Seung-Ki Sul, "Efficiency-Optimized Direct Torque Control of Synchronous Reluctance Motor using Feedback Linearization", IEEE Trans. on I.E., Vol. 46, No. 1, pp. 192~198, Feb. 1999.
- [14] Alfio Consoli and Galogero Cavallaro, "Sensorless Torque Control of Syncrel Motor Drives", IEEE Trans. on P.E., Vol. 15, No.1, pp. 28~35, Jan. 2000.
- [15] H. Murakami, Y. Honda, S. Morimoto, and Y. Takeda, "Performance Evaluation of Synchronous Reluctance Motor and the other motors with the Same Distributed Winding and Stator Configuration", T. IEEE Japan, Vol. 120-D, No. 8/9, pp. 1062~1074, 2000.
- [16] Kuo-Kai Shyu, Chiu-keng Lai, and John Y. Hung, "Totally Invariant State Feedback Controller for Position Control of Synchronous Reluctance Motor", IEEE Trans. on I.E., pp. 615~624, Vol. 48, No. 3, June 2001.
- [17] Patrick L. Jansen and Robert D. Lorenz, "A Physically Insightful Approach to Design and Accuracy Assessment of Flux Observers for Field Oriented Induction Machine Drives", IEEE Trans. on I.A., pp. 101~110, Vol. 30, No. 1, Jan./Feb. 1994.

저 자 소 개



김민회(金玟會)

1953년 7월 23일 생. 1974년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1979년 3월~현재 영남이공대학 전기전자계열 교수. 1993년 7월~1995년 8월 미국 테네시 주립대학(낙스빌) 전기공학과. 전력전자응용연구센터(PEAC) 연구교수. 1996년 8월 IECON '96 최우수 논문상 수상. 당 학회 재무이사.



김남훈(金男勳)

1973년 6월 12일 생. 1998년 삼척대 제어계측공학과 졸업. 2000년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



백원식(白元植)

1970년 10월 20일생. 1996년 계명대 수학과 졸업. 2000년 9월~2001년 현재 영남대 대학원 전기공학과 석사과정.