

퍼지제어를 이용한 유도전동기 시스템의 효율 최적화 제어

論 文
50D-7-2

Efficiency Optimization Control of Induction Motor System using Fuzzy Control

鄭 東 和* · 朴 基 泰** · 李 洪 鈞**
(Dong-Hwa Chung · Gi-Tae Park · Hong-Gyun Lee)

Abstract - Efficiency optimization of an indirect vector controlled induction motor drive is proposed. The loss models are used in the validation of the fuzzy logic based on-line efficiency optimization control. At steady state, the fuzzy controller adaptively changes the excitation current on the basis of measured input power, until the maximum efficiency point is reached. The pulsating torque, due to flux reduction, has been compensated by an ingenious feedforward scheme. During transient state, rated flux is established to get the best transient response. Through a comprehensive simulation study, the results confirmed the validity of the proposed method.

Key Words : induction motor, vector control, inverter, PWM, fuzzy control, efficiency optimization control

1. 서 론

가변속 드라이브 시스템에서의 효율개선은 에너지 절약과 경제적 이득을 가져오며 날로 심화되어 가는 환경오염의 문제를 해결할 수 있다는 폭넓은 전망에서 매우 중요하다. 가변속 드라이브의 적용은 과거에 일정속도 드라이브가 점유했던 영역까지 계속적으로 확대되어 사용되고 있으며, 생산성 증대, 경제 및 환경적으로 이득을 가져올 수 있다는 측면에서 새롭게 중요성이 인식되어 활발하게 연구가 되고 있다.

유도전동기의 효율을 개선하기 위한 연구는 가장 중요한 관심의 초점이 되며 이러한 대부분의 노력이 벡터제어 유도전동기 드라이브에 집중되었다. 자속과 토크제어 루프가 비간섭으로 되어 있기 때문에 벡터로 제어해야 하고 벡터제어는 효율 최적화 제어를 실현하는데 매우 적합하다.

드라이브 시스템의 효율은 사용된 기기의 형태, 변환기 토폴로지, 전력용 반도체 스위치의 형태 및 선정된 PWM 알고리즘 등의 복잡한 함수이다. 또한 제어시스템이 드라이브 효율에 매우 많은 영향을 준다. 일반적으로 드라이브 시스템은 최대의 과도응답으로 나타나는 정격자속에서 동작한다. 그러나 경부하조건에서 정격자속 동작은 동손에 비교하여 과도한 철손을 야기시켜 드라이브 효율을 저감시킨다. 가변속 드라이브는 대부분 경부하에서 동작하므로 최적효율은 자속을 제어하여 성취할 수 있다. 자속제어를 통하여 효율을 개선하기 위한 방법은 문헌에서 많이 보고되고 있다[1]-[3].

간단하게 미리 계산한 자속 프로그램은 토크함수로 되어 있고 자속제어를 통하여 효율을 개선시켰다[1]. 이 방법에서는 주파수 종속을 고려한 이산속도에서 자속 프로그램을 발생시켜 효율을 개선시킬

수 있으며 경부하 효율개선에 광범위하게 적용되었다. 그러나 이 방법은 단지 시스템 효율을 부분적으로 개선하는데 만족했다. 최소 손실에서 나타나는 자속레벨을 선정하는 방법은 손실의 실시간 계산이 이루어 지며 매우 훌륭한 방법으로 평가 받았다. 그러나 손실 계산은 기기모델에 기초로 하고 있으므로 파라미터 변동은 온도과 포화 영향의 원인으로 나타나고 결과적으로 준 최적효율로 동작하게 된다.[2] 온라인 효율 최적화 제어[3]는 측정입력이 최저값으로 셋팅될 때 까지 자속을 스텝적으로 감소시킨다. 이 제어는 기기의 파라미터의 지식이 필요하지 않으며 파라미터 변동에 민감하지 않고 알고리즘은 임의의 기기에 다양하게 적용시킬 수 있다.

최근에 와서는 철손을 고려하고 관측기를 이용한 효율 최적화 연구가 이루어 지고 있다[4]-[7]. 퍼지제어의 효용성이 입증되어 드라이브 시스템에 퍼지제어의 적용에 관한 연구도 많이 이룩되고 있다[8]-[13]. 이러한 연구에서 퍼지제어기는 시스템으로부터 속도 및 부하토크의 변화에 대한 양호한 응답특성을 얻을 수 있었다. 따라서 전동기 속도의 오버슈트와 진동, 토크 진동을 저감시킬 수 있으며 settling time도 짧아지는 장점이 있었다. 파라미터의 변화와 외란에도 퍼지제어를 적용하여 강인한 위치제어의 효과를 입증하였다. 그러나 종래의 퍼지제어에 관한 연구는 효율 최적화 제어에 거의 적용하지 않았으며, 효율 최적화 연구는 시스템 효율을 부분적으로 개선시켜 준 최적효율로 동작하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 퍼지제어를 이용하여 간접 벡터제어의 드라이브 시스템을 위한 효율 최적화 제어를 제시한다. 고속 수렴을 위하여 여자전류의 적용 스텝사이즈 기법을 사용하며 효율 제어기에서 발생한 저 주파수 맥동토크는 피드포워드 보상 알고리즘을 사용하여 저감시킨다. 이론적인 연구의 타당성을 입증하고 그 결과를 제시한다.

* 正 會 員 : 順天大 工大 電氣制御工學科 教授 · 工博

** 準 會 員 : 順天大 工大 電氣工學科 博士課程

接受日字 : 2000年 8月 25日

最終完了 : 2001年 6月 29日

2. 퍼지효율의 최적제어 원리

유도전동기 드라이브 시스템은 그림1과 같이 퍼지제어를

이용한 효율최적화 제어기를 구현한다.

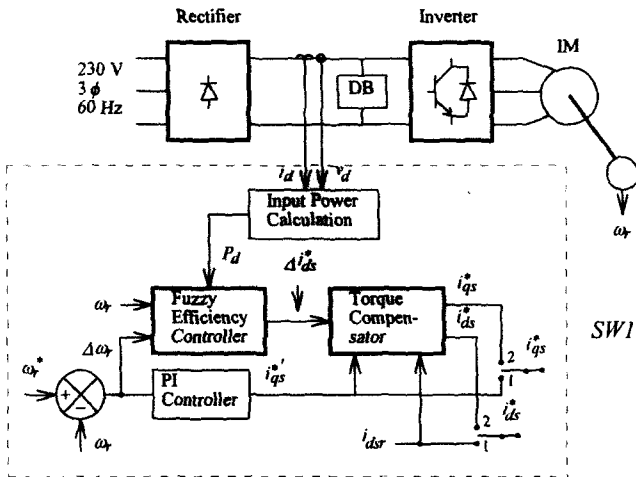


그림 1 효율최적화 제어기를 위한 유도전동기 드라이브 시스템
Fig. 1 Induction motor drive system for the efficiency optimization controller

피드백 속도제어의 루프는 지령전류 i_q^* 를 발생시키며 벡터 회전자는 토크와 여자 지령전류 i_d^* 와 i_q^* 를 받는다. 과도상태의 위치는 스위치 1의 상태가 되며 여기서 여자전류는 정격값 i_{dq} 에서 설정되고 속도루프는 토크전류를 피드백한다. 정상상태의 위치는 스위치 2의 상태가 되며 여자 및 토크전류는 퍼지효율화 제어기 및 피드포워드 토크 보상에 의해 얻는다. 기본적으로 DC 링크전압 v_d 가 일정하므로 DC 링크전력 P_d 의 최소화는 DC 링크전류 i_d 의 최소화로 대체하여 사용이 가능하다. 정류기의 손실은 i_d 에 비례하며 최소 i_d 는 정류기 손실을 최소화하여 결과적으로 입력을 최소화 할 수 있다.

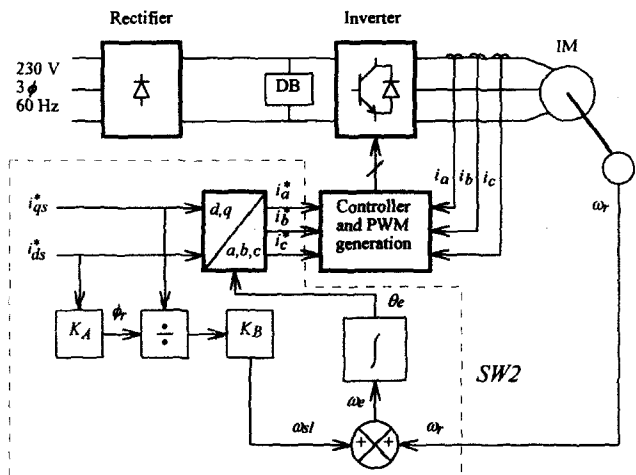


그림 2 간접 벡터제어 유도전동기 드라이브 시스템
Fig. 2 Indirect vector controlled induction motor drive system

그림2는 간접 벡터제어를 위한 유도전동기 드라이브 시스템을 나타내며 다이오드 정류기 및 HB(Hysteresis Band)

PWM 트랜지스터 인버터로 구성된다. 그림1과 그림2는 상호 작용으로 일체가 되어 동작하며, 점선으로 표시된 그림1 SW1(Software)과 그림2 SW2의 모든 제어기능은 소프트웨어웨어로 구현이 가능하다. 그림2에서 K_A, K_B 는 계수이며, ω_r 은 슬립각속도, ω_s 는 동기각속도, ω 는 실제속도이다. 그리고 θ 는 동기각을 나타내며 i_a^*, i_b^*, i_c^* 는 지령 상전류 및 i_a, i_b, i_c 는 실제 전류를 나타낸다.

정상상태의 토크 및 속도조건에서 회전자자속을 프로그래밍하여 효율최적화 제어를 하는 원리는 그림3에 나타낸다.

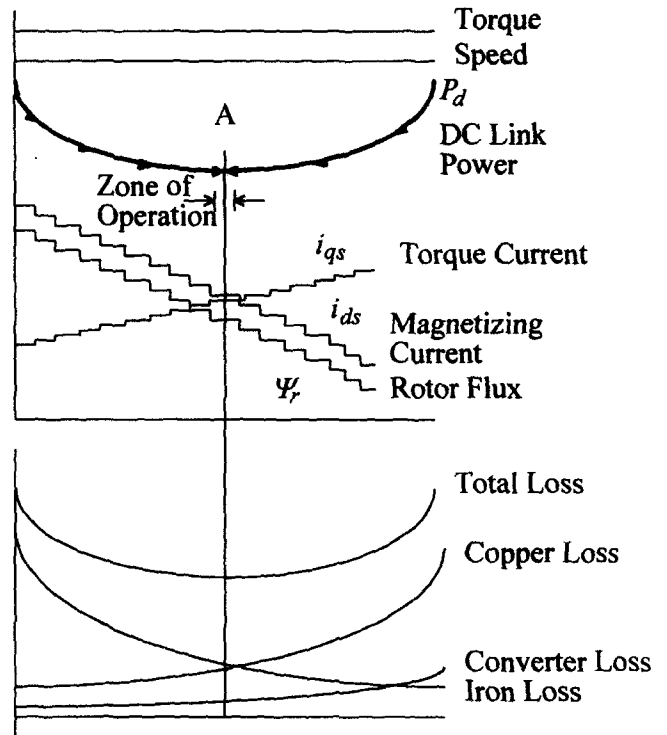


그림 3 회전자자속 프로그래밍에 의한 효율최적화 제어의 원리
Fig. 3 Principle of efficiency optimization control with rotor flux programming

자화전류를 감소시키면 회전자자속은 감소하고 토크전류는 증가하는 현상이 나타난다. 보통 속도 제어기의 동작에 의해 정상상태의 발생토크는 일정하다. 따라서 전 시스템의 손실이 감소하면 DC 링크 전력은 감소하는 결과를 초래한다. 이러한 추정은 시스템이 최소 입력점 A에 정착할 때까지 계속된다. 점 A를 초월하여 이탈하면 최소 전력점으로 돌아가기 위해 제어기를 강제화시킨다.

3. 퍼지 효율화 제어기

퍼지 효율화 제어기의 동작은 그림4에 나타낸다. DC 링크 전력을 샘플링하여 이전 값과 비교하여 증분 ΔP_d 를 결정한다. 그리고 마지막 여자전류 증분 $L\Delta i_{dq}$ 를 재조산한다. Δi_{dq}^* 의 증분스텝은 퍼지추론과 비퍼지화를 이용하여 퍼지규칙으로부터 얻는다. 제어가 가능한 이득 i_b 와 i_b 는 SFC(Scaling Factors Computation) 블록에서 얻고 단위값의 입출력 변수로 변환한다. 하나의 퍼지규칙 배이스는 어떤 토크와 속도의 조건을

위하여 사용할 수 있다. 전동기의 속도함수로서 입력이득 P_b 는 다음과 같다.

$$P_b = a\omega_r + b \quad (1)$$

출력이득 I_b 는 전동기 속도와 전동기 토크의 추정 근사치로 계산한다.

$$I_b = c_1\omega_r - c_2\hat{T}_e + c_3 \quad (2)$$

여기서 \hat{T}_e 는 다음과 같다.

$$\hat{T}_e = K_1^* i_{ds}^* i_{qs}^* \quad (3)$$

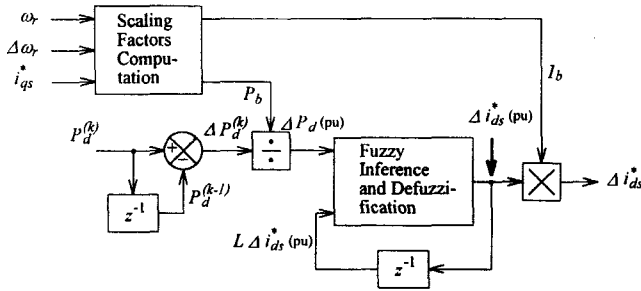


그림 4 효율최적화 제어의 블록도
Fig. 4 Efficiency optimization control block diagram

근사계수 a, b, c_1, c_2 및 c_3 는 다음과 같은 해석으로부터 얻을 수 있다.

- 근사적 최적 자화전류 i_{ds0} 는 간단한 모델을 사용하며 토크와 속도 평면에서 선정된 동작점에서 결정한다.
- 최소자승 추정은 전동기의 토크와 속도의 함수로서 i_{ds0} 의 선형표현을 얻는데 사용한다.
- 출력이득 식(2)는 정격 자화전류 i_{dsr} 와 근사 최적치 i_{ds0} 사이의 거리의 3배로 정의한다.
- 부하토크 0.1(pu)와 여러 속도에서 시뮬레이션을 수행하고 자화전류는 스텝크기 I_b 에 의해 감소시켜 입력 ΔP 의 감소된 결과를 얻는다.
- 입력식 (1)은 속도의 함수로서 ΔP^{-1} 의 선형식으로 정의하며 최소자승 추정에 의해 유도한다.

입출력 이득이 없는 경우에는 이전 동작 $\Delta i_{ds}^*(k-1)$ 로부터 얻어진 결과인 ΔP_d 의 설정값과 동일하게 재동작시킬 수 있다. 효율최적화 점A는 속도에 종속되기 때문에 제어동작은 쉽게 보존적이 되어 결과적으로 아주 느리게 또는 과도하게 수렴하게 된다. 이는 시스템 안정도에 충격이 가해지지 않도록 하면 추정과정에서 오버슈트가 저감된다. 입출력 이득은 속도의 함수이므로 이러한 문제는 나타나지 않는다. 식(2)는 Δi_{ds}^* 의 최적치가 전동기 속도와 토크의 함수로 나타난다. 이 방법에서 여러 속도와 토크 조건에 대해 동일한 $\Delta i_{ds}^*(pu)$ 는 고속 수렴에서 나타나는 여러 Δi_{ds}^* 의 결과이다.

효율최적화 제어를 위한 퍼지제어의 소속함수는 그림5에 나타낸다. 입출력 이득 때문에 모든 변수의 집합은 $[-1,1]$ 구간에서 정규화된다. 제어변수 Δi_{ds}^* 는 양호한 제어의 민감도를 제공해 주기 위하여 7개 퍼지집합이 필요하며 $L\Delta i_{ds}^*$ 이전 제어동작 즉 $\Delta i_{ds}^*(k-1)$ 의 주정보는 부호로서 수렴하므로 단지 2개의 퍼지집합이 필요하다. 양(P)과 음(N) 소속함수의

약간의 중첩은 HDM(High Defuzzification Method)의 적절한 동작을 확인하는데 필요하며 $L\Delta i_{ds}^*$ 가 영에 도달하는 결과를 방지한다.

퍼지제어의 규칙 베이스는 표1에 나타내며 퍼지 규칙의 예는 다음과 같다.

IF the power increment (ΔP_d) is negative medium(NM) and the last $\Delta i_{ds}^*(L\Delta i_{ds}^*)$ is negative (N), THEN the new excitation increment (Δi_{ds}^*) is negative medium (NM).

표 1 퍼지효율 제어를 위한 규칙 베이스
Table 1 Rule base for the fuzzy efficiency controller

$L\Delta i_{ds}^*(pu)$		
$\Delta P_d (pu)$	N	P
PB	PM	NM
PM	PS	NS
PS	PS	NS
ZE	ZE	ZE
NS	NS	PS
NM	NM	PM
NB	NB	PB

마지막 제어동작이 DC 링크 전력의 감소로 나타나면 같은 방향으로 계속 추적하며 제어크기는 측정된 DC 링크 전력의 변화에 약간 비례해야 한다. 마지막 제어동작이 P_d 의 증가로 나타날 경우에는 역 방향으로 추적하며 Δi_{ds}^* 스텝크기는 추적 과정에서 진동을 약화시키기 위해 감소시킨다.

최적점은 속도, 부하조건 및 전동기 파라미터의 변화에 영향을 받으므로 퍼지논리의 추적 제어기는 이러한 문제를 위하여 자연적으로 선택한다. 초기에는 제어방법의 언어적 표현을 쉽게 얻을 수 있다. 그런 다음 퍼지논리는 실제적인 제어를 유도하기 위하여 적절한 수학적구조를 제공해야 한다. 따라서 명확한 동조과정은 약간의 시간소비가 필요하다.

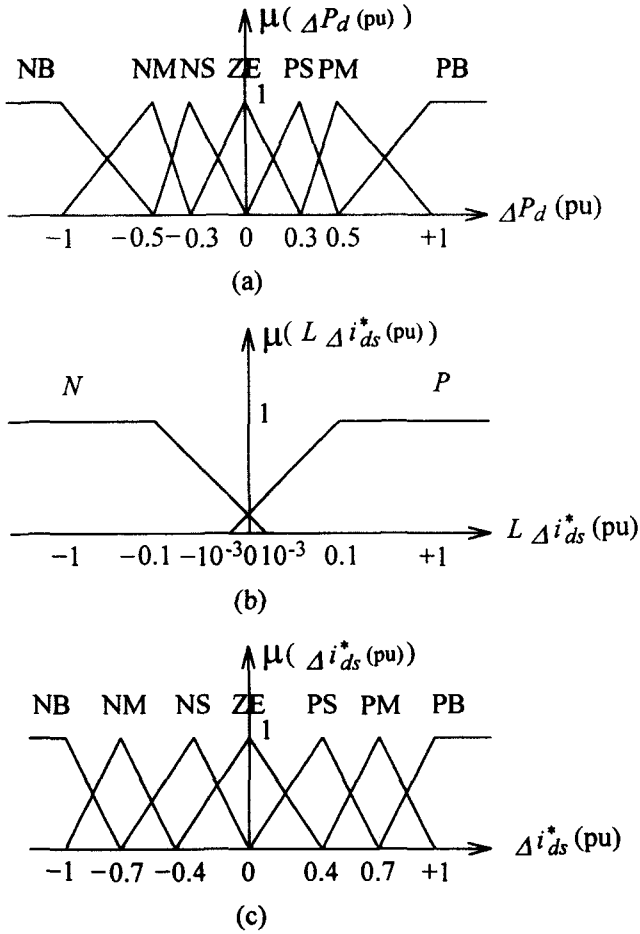


그림 5 퍼지효율화 제어에 대한 소속함수
 Fig. 5 Membership functions for the fuzzy efficiency control
 (a) Change in DC link power
 (b) Last change in magnetizing current
 (c) Magnetizing current increment

4. 피이드 포워드 맥동토크 보상

여자전류는 퍼지제어기에 의해 적용 스텝으로 감소하므로 회전자속은 지수적으로 감소한다.

$$\frac{d}{dt} \psi_r = \frac{L_m i_{ds} - \psi_r}{\tau_r} \tag{4}$$

여기서 τ_r 는 회전자 시정수이며 L_m 은 자화 인덕턴스이다. 자속의 감소는 토크의 손실을 야기시키며 보통 속도제어 루프에서 느리게 보상한다. 저 주파수에서 나타나는 맥동토크는 매우 나쁜 영향을 초래하며 이는 속도리플과 기계적인 공진도 야기시킨다. 이러한 문제를 방지하기 위하여 피이드포워드의 맥동 토크 보상을 제시한다.

정확한 벡터제어에서 발생 토크는 다음과 같다.

$$T_e = K_t i_{qs} \psi_r \tag{5}$$

변하지 않는 토크에 대해서는 토크전류 i_{qs} 는 회전자속에 대해 역으로 변화하여 제어되어야 한다. 이 개념의 실제적인 구현은 그림5에서 설명한다.

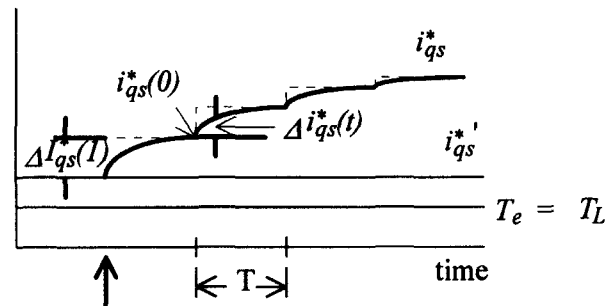
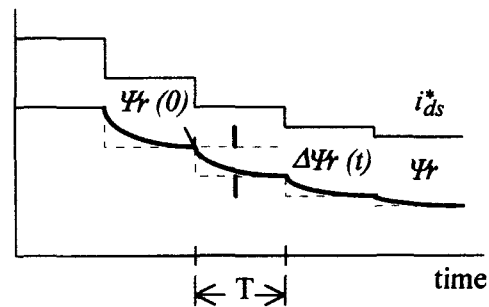
보상신호 $\Delta i_{qs}^*(t)$ 는 자속 $\Delta \psi_r(t)$ 를 감소하는 역동작을 주기 위해 i_{qs}^* 에 첨가한다. 여기서 $t \in [0, T]$ 이고 T 는 효율최적화 제어에 대한 샘플링 주기이다. $i_{qs}(0)$ 및 $\psi_r(0)$ 는 i_{ds}^* 의 k 번째 스텝 변화에 대해 i_{qs} 및 ψ_r 의 초기치이다. 완전한 보상을 위하여 발생토크는 일정해야 하며 다음과 같이 나타낸다.

$$[\psi_r(0) + \Delta \psi_r(t)][i_{qs}(0) + \Delta i_{qs}(t)] = \psi_r(0) i_{qs}(0) \tag{6}$$

$\Delta i_{qs}(t)$ 에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$\Delta i_{qs}(t) = \frac{-\Delta \psi_r(t) i_{qs}(0)}{\psi_r(0) + \Delta \psi_r(t)} \tag{7}$$

여기서 $\Delta \psi_r(t)$ 는 i_{ds} 를 위해 대체한 Δi_{ds} 에 의한 식(4)에 의해 조절된다. 이러한 보상을 구현하기 위하여 식(7)은 실제신호 위치에서 자속 추정치 $\hat{\psi}_r$ 와 지령치 i_{qs}^* 를 사용하여 $\Delta i_{qs}^*(t)$ 를 발생하기 위하여 적용한다. $\Delta i_{qs}^*(t)$ 를 위한 양호한 근사해는 추정 정상상태치 $\hat{\psi}_r(t) = L_m i_{qs}^*$ 에 의해 식(7)의 분모로 대치하여 얻을 수 있다.



Efficiency Optimization Starts

그림 5 피이드포워드의 토크보상 원리

Fig. 5 Principle of feedforward torque compensation

먼저 보상전류의 스텝을 위한 값은 다음과 같은 이산 방정식에 의해 계산한다.

$$\Delta i_{qs}^*(k) = \frac{\hat{\psi}_r(k-1) - \hat{\psi}_r(k)}{\hat{\psi}_r(k)} i_{qs}^*(k-1) \quad (8)$$

다음은 전류스텝은 회전자 시정수의 1차 저역필터를 통하여 수행되며 이전 보상스텝이 첨가된다. 이 전류는 전류 i_{qs}^* 를 발생하는 초기의 속도루프에 첨가되며 어떤 순서에서 i_{qs}^* 의 곱은 본질적으로 일정하게 유지한다. 효율최적화 제어기는 정상상태의 조건에서는 매우 효율성이 있지만 과도응답은 악화된다. 이는 약화된 자속이 최대 토크능력을 감소시키기 때문이다. 부하토크 또는 속도지령에서 어떤 변화에 대한 드라이브의 고속 과도응답 능력은 정격자속을 설정하기 위하여 교정한다. 그림6은 효율최적화(모드2)와 과도응답 최적화(모드1)사이의 전이의 기준을 나타낸다. 시스템은 모드1에서 시작하고 정상상태에 도달하면 모드2로 스위치를 변환한다. 설정속도에서 부하의 외란 또는 변동이 나타나면 시스템은 정격 자화전류가 설정에 의해 다시 모드1으로 전이한다.

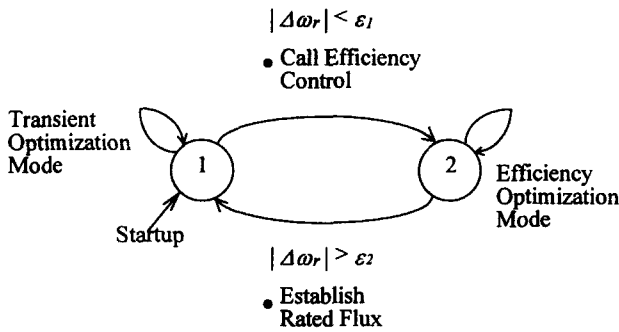


그림 6 효율 최적화와 과도응답 최적화 모드사이의 전이
Fig. 6 Transition between efficiency optimization and transient response optimization modes

5. 성능 결과

그림7은 속도 $\omega_r = 900(rpm)$ 및 $T_L = 0.1(pu)$ 의 조건으로 일정하게 했을 경우 시간영역에서 최적효율 추적곡선을 나타낸다. 그림(a)는 실제속도, (b)는 지령 d축 전류 (c)는 DC 링크전력, (d)는 지령 q축 전류 및 (e)는 발생토크를 나타낸다. 추적 알고리즘은 ΔP_d 가 영에 접근할 때까지 i_{ds}^* 의 영이 아닌 최소 스텝크기를 인가한다. 이는 파라미터 변동 또는 부하 조건에서 미소변화에 대한 최적 동작을 명확하게 확인하기 위한 것이다. 토크맥동 보상의 효과는 그림(e)의 토크 파형으로부터 알 수 있다.

그림8은 동작모드 전이 동안 시스템의 성능을 나타낸다. 시스템은 초기에는 정상상태와 모드2에서 동작한다. 3.5초에서 부하토크를 갑자기 $2(N \cdot m)$ 에서 $10(N \cdot m)$ 로 증가시키면 그림(a)에서와 같이 속도강하가 나타난다. 이 때 모드1으로 전이를 강제화 시킨다. 정격 i_{ds}^* 는 쉽게 재 설정되고 속도제어기는 i_{qs}^* 를 증가시킨다. 한번 시스템이 정상상태 조건에 도달하면 모드2로 다시 전이되고 새로운 추적을 초기화한다. 매우 큰 부하토크의 영향으로 출력전류 i_b 는 감소하고 그림(b)에서 새로운 추적을 시작한다.

그림9와 10은 토크-속도 평면에서 여러 동작점에서 효율최적제어와 효율최적제어를 하지 않는 경우의 효율의 결과를 비교하여 나타낸다. 그림9 (a)는 450(rpm), (b)는 900(rpm)이며 그림10 (a)는 1200(rpm), (b)는 1350(rpm)이다. 최대효율은 정격자속에서 철손이 거의 나타나는 경부하에서 주로 효율성이 있는 것을 알 수 있다. 전동기와 컨버터 시스템의 실제적인 제한에 상관없이 제시된 퍼지 제어기는 주어진 동작조건에 대하여 최적 가능한 효율을 얻을 수 있다.

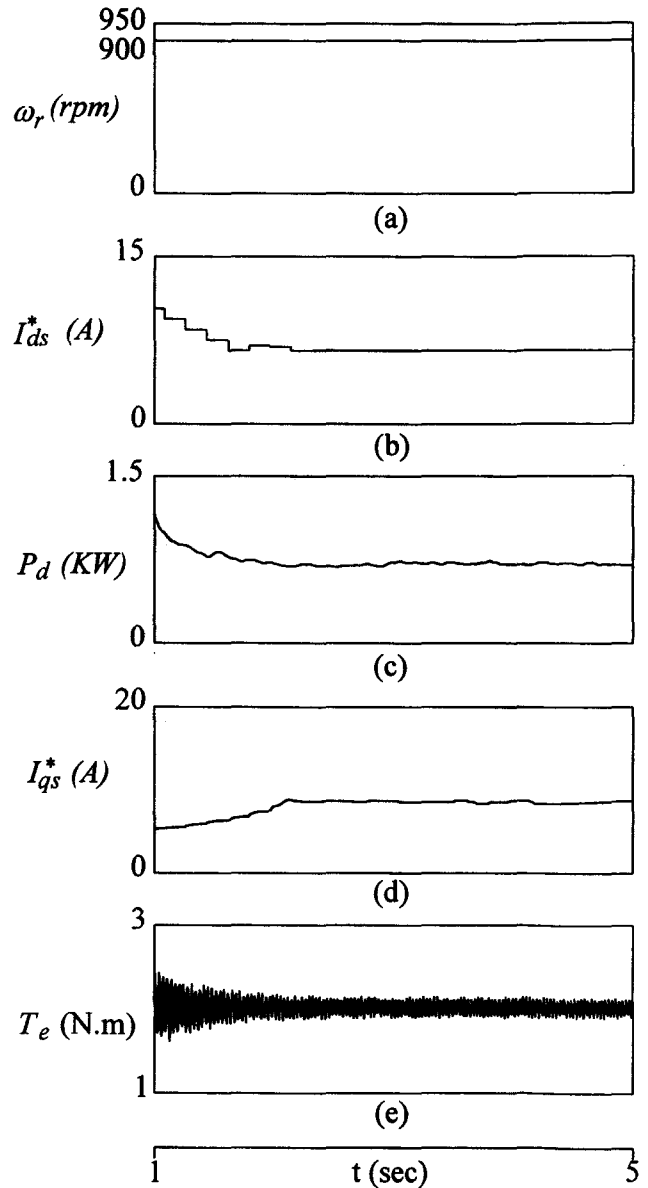


그림 7 시간영역에서 최적효율 추적곡선
Fig. 7 Optimum efficiency tracking curves in time domain

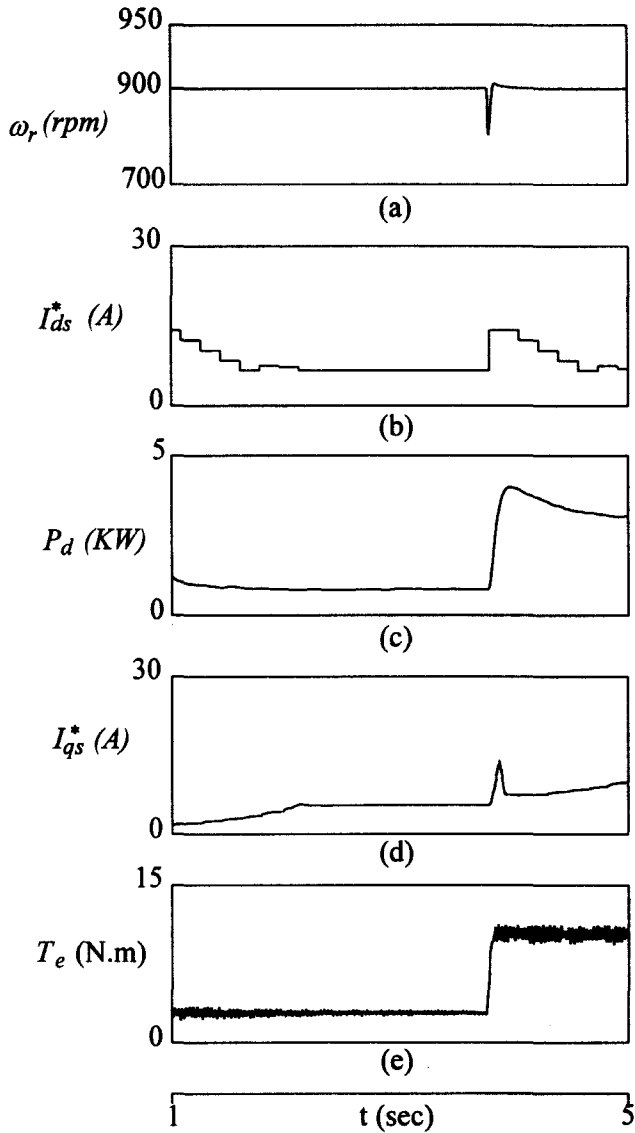


그림 8 갑작스런 부하토크의 증가에 의한 드라이브 성능
 Fig. 8 Drive performance in time domain with sudden increase of load torque

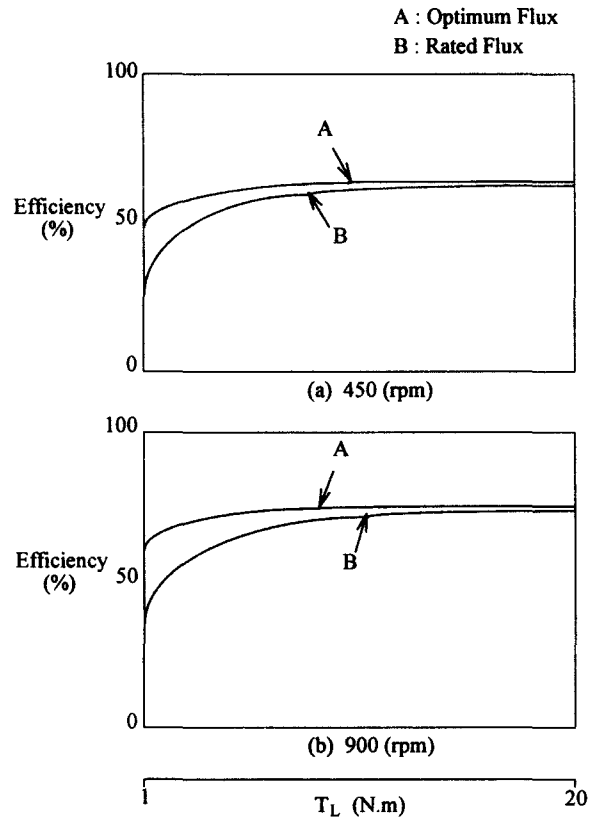


그림 9 효율 곡선
 Fig. 9 Efficiency curves

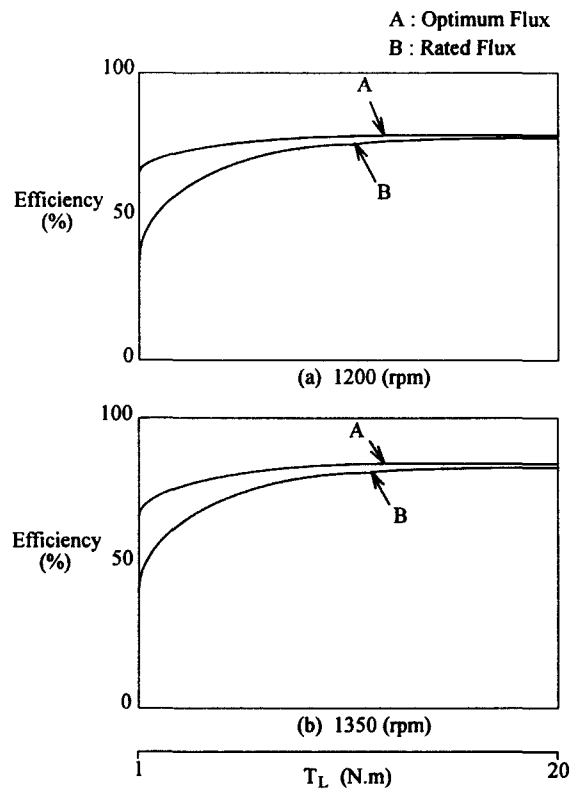


그림 10 효율 곡선
 Fig. 10 Efficiency curves

6. 결론

퍼지제어를 이용하여 간접 벡터제어의 드라이브 시스템을 위한 효율 최적화 제어를 제시하였다. 최적효율이 성취될때 까지 측정된 DC 링크전력을 기초로 자화전류를 적응적으로 조절하는 퍼지제어기를 설계하였다. 자속의 변동에 기인한 저 주파수 맥동토크를 저감시키기 위하여 피이드포워드 토크 보상기를 사용하였다. 효율 최적화 및 과도 최적화 사이의 모드 전이를 사용하였다. 시간영역에서 최적효율을 추종하는 곡선을 구하였으며 정격자속에서 효율과 최적자속에서 효율을 비교하였다. 따라서 본 연구에서 나타난 결론은 다음과 같다.

- (1) 시간영역에서 최적효율의 추적곡선과 응답특성은 양호하게 나타났다.
- (2) 갑작스런 부하토크의 증가에도 드라이브 성능은 양호하였고 최적효율의 추적도 양호하게 나타났다.
- (3) 피이드포워드 토크 보상기를 사용하여 저 주파수 맥동토크를 저감시킬 수 있었다.
- (4) 효율 최적화와 과도 최적화 사이의 모드전환이 용이하게 수행되었다.
- (5) 정격자속에서 효율과 최적자속에서 효율을 비교하여 본 연구에서 제시한 최적자속의 효율이 종래의 정격자속의 효율보다 저 토크에서는 대폭적으로 상승되었다.

본 논문에서 퍼지제어기를 이용한 최적화 효율이 종래의 정격자속에서의 효율에 비해 매우 향상됨을 알 수 있었으며 본 연구의 퍼지 효율화 제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 '98년도 기초전력공동연구소 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호 : 98-039)

참고 문헌

- [1] F. J. Nola, "Power factor control system for AC induction motor," US Patent 4,052,648, oct. 4, 1977.
- [2] A. Kusko and Galler, "Control means for minimization of losses in AC and DC motor drive," IEEE Trans. on IA, vol. IA-19, pp. 651-570, 1983.
- [3] D. S. Kirschen, D.W. Novotny and T. A. Lipo, "On-line efficiency optimization of a variable frequency induction motor drive," IEEE IAS Ann. Meet. Conf. Rec., pp. 488-492, 1984.
- [4] K. Matsuse, et al., "High response flux control of direct field oriented induction motor with high efficiency taking core loss into account," IEEE Trans. IA, vol. 35, no. 1, pp. 62-69, 1999.
- [5] E. Levi, "Impact of iron loss on behavior of vector controlled induction machines," IEEE Trans. IA, vol. 31, no. 6, pp. 1287-1296, 1995.
- [6] K. Matsuse, et al., "Fast rotor flux control of direct field oriented induction motor operating at maximum efficiency using adaptive rotor flux observer," in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meet., pp. 327-334, 1995.
- [7] Y. Kinpara and M. Koyama, "High efficiency high

response vector control of induction motor taking iron loss into consideration," in Proc. IEEJ-IAS Annu. Meet., p. 201, 1995.

- [8] D. H. Chung, "Fuzzy control for high performance vector control of PMSM drive system," KIEE, vol. 47, no. 12, pp. 2171-2180, 1998.
- [9] C. Y. Won, S. C. Kim and B. K. Bose, "Robust position control of induction motor using fuzzy logic control," in IEEE IAS'92, Conf. Rec., pp. 472-481, 1992.
- [10] S. A. Mir, et al., "Fuzzy controller for Inverter fed induction machines," IEEE Trans. IA, vol. 30, no. 1, pp. 78-84, 1994.
- [11] I. Miki, et al., "Vector Control of Induction Motor with Fuzzy PI Controller", in IEEE IAS'91 Conf. Rec., pp. 341-346, 1991.
- [12] C. Y. Won, S. C. Kim and B. K. Bose, "Robust Position Control of Induction Motor using Fuzzy Logic Control", in IEEE IAS'92 Conf. Rec., pp. 472-481, 1992.
- [13] S. A. Mir, D. S. Zinger and M. E. Elbuluk, "Fuzzy Controller for Inverter fed Induction Machines", in IEEE IAS'92 Conf. Rec., pp. 464-471, 1992.

저 자 소 개



정 동 화 (鄭 東 和)

1955년 8월 15일 생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988년~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989

년~현재 순천대 정보통신공학부 교수.
Tel : 061-750-3543, Fax : 061-752-9841
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr



박 기 태 (朴 基 泰)

1974년 2월 9일 생. 1999년 순천대 공대 전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정. 2000년~현재 제일시스템(주) 재직.



이 홍 균 (李 洪 鈞)

1973년 7월 15일 생. 1999년 순천대 공대 전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정.