

고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용한 유도전동기의 직접 벡터제어

정 종 진^o 김 흥 근
경북대학교 전기공학과

Direct Vector Control of Induction Motor Using the
Third Harmonic Component of the Stator Voltage

Jong-Jin Jung Heung-Geun Kim
Dept. of Electrical Eng. Kyung-Pook Nat. Univ.

Abstract

A direct vector control for induction machine based on determination of the spatial position of the airgap flux from the third harmonic component of the stator phase voltage is presented in this paper. The relationship between the airgap fundamental flux component and the third harmonic flux component obtained from the stator third harmonic voltage is presented at the end of this paper.

1. 서론

유도전동기의 벡터제어시 회전자 자속에 대한 정보가 필수적인데 이를 직접 측정하는 방법과 계산에 의한 간접적인 방법이 있으며 직접 벡터제어는 고정자 치면에 홀소자를 부착시켜서 공극의 자속밀도를 직접 측정하여 공극자속의 크기와 위치를 결정하는데 이 방법은 가장 간단한 방법이나 홀소자가 기계적 강도와 열에 약하며 표준전동기를 사용할 수 없는 단점이 있다. 또 이러한 센서들로 인해서 전체 제어기의 비용이 올라가고 전동기 구동에 큰 영향을 미친다. 계산에 의한 간접 벡터 제어는 직접 벡터제어처럼 측정코일이나 홀소자를 사용하여 고정자 전압이나 전류를 측정하지 않고 회전자 속도와 기준 토크 전류와 자속전류로부터 구한 슬립 각속도를 더하여 회전자 자속의 각속도를 구하여 이를 이용하는 제어방식이다. 간접 벡터제어는 시스템 구현이 용이하나 전동기의 회전자 시정수의 변화에 영향을 받기 쉬운 단점이 있다.

이러한 문제점들을 개선하면서 본 논문에서는 최소의 센서를 가지고 이러한 센서들이 전동기 구동에 큰 제한을 주지 않는 고정자 전압의 3 고조파 성분을 이용하는 유도 전동기의 직접 벡터 제어 시스템을 제시하였다. 단지 고정자의 상전압을 측정하기 위해서 고정자 권선에 중성점 결선이 필요하게 된다.

본 논문에서는 이와같은 방법으로 하여 유도전동기의 직접 벡터 제어방법을 제시하였고 히스테리시스 제어기, 고정자좌표계 삼각파 비교기, 동기속도 회전자표계 삼각파 비교기등 각각의 전류 제어기에 대해서 디지털 시뮬레이션 및 기초실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 고정자전압의 제3고조파 성분을 이용한 회전자 자속의 추정

본 논문에서는 고정자전압의 제3고조파 성분으로 부터 공극자속을 추정하고, 이 공극자속 신호와 고정자 전류로 부터 회전자 자속을 추정하는 방법을 제시하였다.

유도전동기에서 자기회로의 비선형성은 철심부분의 포화와 고정자 및 회전자 치부분에서의 포화에 의해서 비롯되는데 특히 치부분의 포화가 큰 영향을 미치게 되어 공극자속에는 제3고조파 성분이 존재하게 된다. 이 제3고조파 공극자속이 고정자권선과 쇄교하여 고정자 각 상에는 제3고조파 성분 전압이 유기된다. 제3고조파 성분 전압은 각상 모두 동상이기 때문에 영상분 전압이 된다. 고정자권선이 Y결선이고 중성점 연결이 없으면 고정자권선에는 제3고조파 전류가 흐르지 못하고, 따라서 제3고조파 전류에 의한 고정자 임피던스 전압강하는 영이다. 그러므로 고정자전압의 제3고조파 성분은 공극 전압의 제3고조파 성분과 같게 된다.

고정자에 인가되는 3상 전압을 모두 더한 신호에는 기본과 성분과 특정 고조파 성분(Characteristic harmonic component; 5th, 7th, 11th 등)은 모두 제거되므로 제3고조파 성분과 회전자의 슬롯에 기인되는 고차의 고조파가 포함된다. 슬롯 고조파 성분을 저역통과 필터로 제거하면 고정자전압의 제3고조파 성분 신호 v_3 를 얻을 수 있고 이를 적분하여 공극자속의 제3고조파 성분 λ_{g3} 를 얻을 수 있다. 공극자속의 기본과 성분과 제3고조파 성분의 크기간에는 다음과 같은 비선형 관계식이 성립하므로 공극자속의 제3고조파 성분의 크기를 알면 기본과 성분의 크기를 식 1로 부터 추정할 수 있다.

$$|\lambda_{g1}| = f(|\lambda_{g3}|) \quad (1)$$

실제로는 이 비선형 관계식을 유도전동기의 무부하 시험으로부터 실험적으로 구한다.

공극자속의 제3고조파 성분은 기본과 성분과 동상이므로 고정자전류와 공극자속간의 위상차 γ 를 구하면 공극자속 벡터를 알 수 있다. 즉 고정자전류 벡터를

$$\dot{\lambda}_g = i_g e^{j\theta_g} \quad (2)$$

라 하면 공극자속 벡터는 다음과 같다.

$$\lambda_g = \lambda_g e^{j(\theta_g - \tau)}$$

고정자전류 벡터와 공극자속 벡터로 부터 회전자자속 벡터를 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\lambda_r = \frac{L_r}{L_m} \lambda_g - L_r \dot{\lambda}_g = \lambda_r e^{j\theta_r} \quad (3)$$

식3으로 표시되는 회전자자속 추정치에서 회전자 자속각 θ_r 는 동기속도로 회전하는 d 축의 순시 위치를 나타내므로 벡터회전의 기준이 되는 각으로 사용하며, 회전자자속의 크기 λ_r 은 자속의 제한제어를 하는 경우

3. 유도전동기 직접 벡터제어 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안한 유도전동기의 직접 벡터제어 시스템이다. 회전자 자속의 추정원리는 2장에서 제시하였는데 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용하여 공극자속을 구하고 이 추정된 공극자속과 고정자 전류로부터 식 3을 사용하여 회전자 자속을 추정한다. 그림 1에서는 전류제어기로서 히스테리시스 제어기를 채택한 경우를 나타내었는데 고정자 좌표계 삼각파 비교제어기 또는 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교제어기를 채택한 경우에는 PWM 신호를 발생하는 부분만 수정하면 되고 실제로 이는 소프트웨어적으로 처리하게 되므로 하드웨어의 변경없이 각 제어기를 채택한 경우의 실험결과를 얻어 비교할 수 있다.

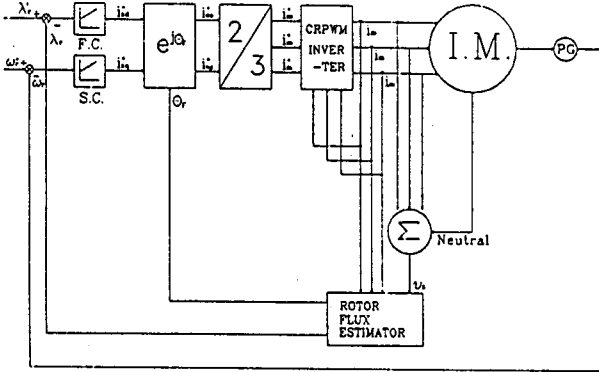


그림 1 직접 벡터제어 유도전동기 구동시스템.

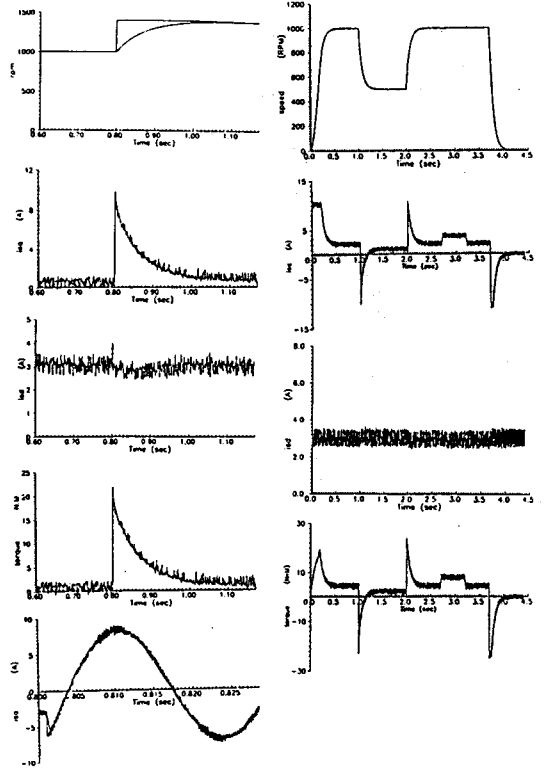
4. 시뮬레이션 및 기초실험

4-1. 시뮬레이션 결과

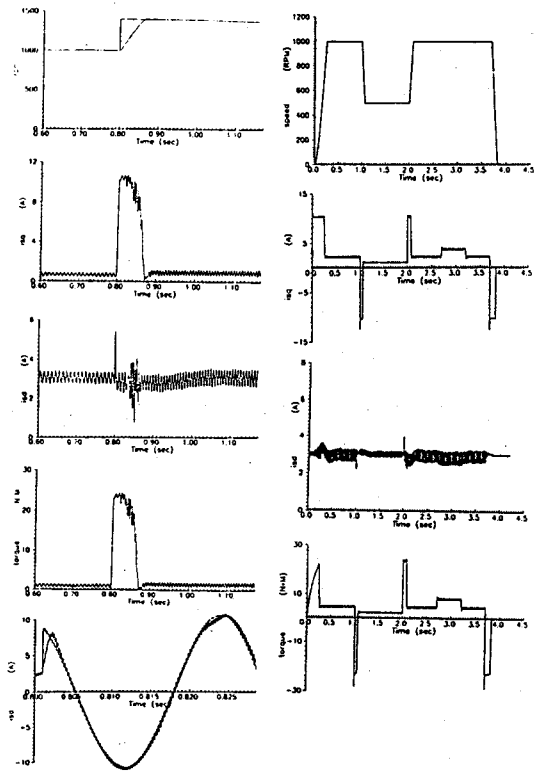
제시된 알고리즘의 타당성을 고찰하기 위해 실험에 앞서 디지털 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션의 기본 알고리즘은 그림 1과 같다. 시뮬레이션은 히스테리시스 제어기, 고정자 좌표계 삼각파 비교기, 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교기로 나누어서 실행하였다. 기준속도의 스텝변화시와 부하 토크의 스텝변화시의 각 전류제어기의 과도응답특성 그림 3과 같다. 예상한것 처럼 히스테리시스 제어기에서는 전류 오차가 히스테리시스 밴드의 2배까지 가능하며 전류 리플이 크다. 고정자 좌표계 삼각파 제어기에서는 필연적으로 수반되는 위상지연이 있음을 볼 수 있었고, 동기속도 회전좌표계에서는 위상지연 없으며 전류 리플이 작음을 볼 수 있었다. 특히 기준속도나 부하 토크의 변동시에도 자속성분 전류와 토크성분 전류의 과도 특성이 우수함을 볼 수 있었다.

4-2. 기초실험

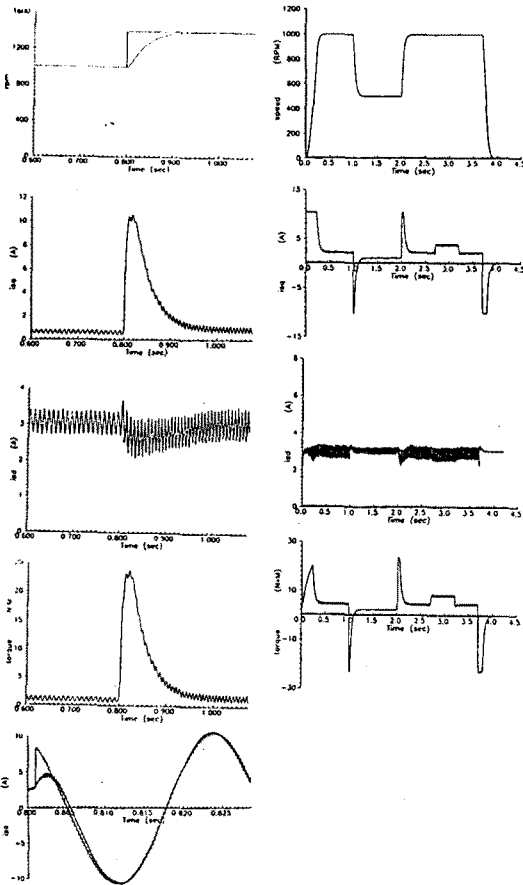
공극 자속의 기본과 성분과 제 3 고조파 성분간의 크기 관계는 전동기의 무부하 시험으로부터 구할 수 있다. 그림 4는 제 3 고조파 전압 파형과 그 전압의 스펙트럼 분석 파형을 나타내며 그림 5는 그 결과로부터 구한 공극 자속의 기본과 성분과 제 3 고조파 자속간의 크기 관계를 나타낸다.



(a) 기준속도 스텝변화시 (b) 부하토크 스텝변화시
(A) 히스테리시스 제어기



(a) 기준속도 스텝변화시 (b) 부하토크 스텝변화시
(B) 고정자 좌표계 삼각파 비교기



(a) 기준속도 스텝변화시 (b) 부하토크 스텝변화시
(C) 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교기
그림 3 각 전류제어기의 과도응답 특성

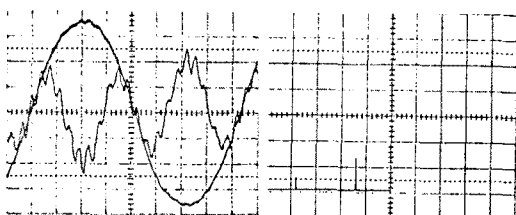


그림 4 제 3고조파 전압 파형 및 스펙트럼 분석

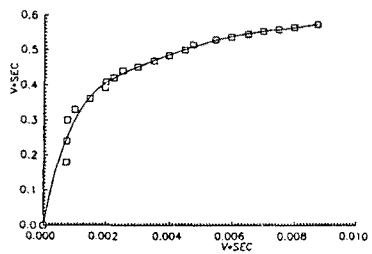


그림 5 공극 자속의 기본파 성분과 제 3고조파 자속간의 크기 관계

5. 결론

본 논문에서는 최소의 센서를 가지고 이들 센서들이 전동기 구동에 큰 제한이 없는 고정자 전압의 제 3고조파 성분을 이용하는 유도전동기의 직접 벡터 제어시스템을 제시하였다. 고정자 상전압에 유기되는 제 3고조파 성분을 이용하여 회전자 자속의 추정원리를 제시하였고 실험을 통하여 그 원리의 타당성을 입증하였다.

각각의 전류제어기에 대해서 시뮬레이션을 실행한 결과 기준속도와 부하 토크의 변화시 그 과도응답 특성들이 매우 우수하였으며 특히 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교기에서는 전류 리플이 작으면서 기준 전류를 잘 추종함을 볼 수 있었다.

참고 문헌

1. F. Blaschke, "The Principle of Field Orientation as applied to the new Transvector Closed-loop Control System for rotating field machines," Siemens Rev., Vol. 34, 1972.
2. R. Gabriel, W. Leonhard & C. J. Nordby, "Field-oriented control of a standard AC motor using microprocessors," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-16, No.2, March / April, 1980.
3. J. C. Moreira, T. A. Lipo and V. Blasko, "Simple Efficiency Maximizer for an Adjustable Frequency Induction Motor Drive," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-27, No.5, Sept./Oct., 1991.
4. J. C. Moreira and T. A. Lipo, "Modeling of Saturated ac Machines Including Air Gap Flux Harmonic Components," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-28, No.2, March/April, 1992.
5. T. Matsuo & T. A. Lipo, "A rotor parameter identification scheme for vector controlled induction motor drives," IEEE IAS Conf. Rec., pp. 538-545, 1984.
6. K. B. Nordin, D. W. Novotny & D. S. Zinger, "The influence of motor parameter deviations in feedforward field orientation drive systems," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-21, No.4, July/August, 1985.