

고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용한 유도전동기의 벡터제어 시스템

노애숙⁰ 정종진 김홍근
경북대학교 전기공학과

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

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

Abstract

A direct vector control system of induction machine based determination of the spatial position of the airgap flux from the third harmonic component of the stator voltage is presented in this paper. The Rotor flux, necessary in direct vector control system, is estimated with the stator current and the airgap flux acquired from the third harmonic component of the stator voltage. And it will be used as an important information to implement the vector control system of the induction motor drive.

1. 서론

유도전동기의 벡터제어를 위해서는 회전자 자속에 대한 정보 획득이 필수적인데 회전자 자속에 대한 정보는 직접 측정과 계산에 의한 간접적인 방법으로 얻을 수 있다. 직접 측정 방법은 고정자 치면에 홀소자들 부착시켜서 공급의 자속밀도를 직접 측정하는데, 이 방법은 가장 간단한 방법이나 홀소자가 기계적 강도와 열에 약하며 표준전동기를 사용할 수 없는 단점이 있다. 계산에 의한 방법은 센서들을 이용하여 고정자 전압이나 전류를 측정하지 않고 회전자 속도와 기준토크 전류와 자속전류로부터 구한 슬립 각속도를 더하여 회전자 자속의 각속도를 구하는 방법으로, 시스템 구현이 용이하나 전동기의 회전자 시정수의 변화에 영향을 받기 쉬운 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하면서 최소한의 센서들 가지고 전동기 구동에 큰 제한을 주지 않는 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용한 유도전동기의 직접 벡터 제어 시스템을 제시한다. 단지 고정자의 상전압을 측정하기 위해서 고정자 권선에 중성점 결선이 필요하게 된다.

2. 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용한 회전자 자속의 추정

본 논문에서는 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용하여 공급자속을 추정하고, 이 공급자속과 고정자 전류로부터 회전자 자속을 추정하는 방법을 제시하였다.

유도전동기에서 자기회로의 비선형성은 철심부분의 포화와 고정자 및 회전자의 치부분에서의 포화에 의해서 비롯되는데 특히 치부분의 포화가 큰 영향을 미치게 되어 공급자속에는 제3고조파 성분이 존재하게 된다. 이 제3고조파 공급자속이 고정자 권선과 채교하여 고정자 각 상에는 제3고조파 성분전압이 유기된다. 제3고조파 성분전압은 각 상 모두 동상이기 때문에 영상분 전압이 된다. 고정자 권선이 Y결선이고 중성점 연결이 없으면 고정자 권선에는 제3고조파 전류가 흐르지 못하고, 따라서 제3고조파 전류에 의한 고정자 임피던스 전압 강하는 영이다. 그러므로 고정자 전압의 제3고조파 성분은 공급전압의 제3고조파 성분과 같게 된다.

고정자에 인가되는 3상전압을 모두 더한 신호에는 기본파 성분과 특정 고조파 성분은 모두 제거되므로 제3고조파 성분과 회전자의 슬롯에 기인되는 고차의 고조파가 포함된다. 슬롯 고조파 성분을 저역통과 필터로 제거하면 고정자전압의 제3고조파 성분 신호 v_s 를 얻을 수 있고, 이를 적분하여 공급 자속의 제3고조파 성분 λ_{gs} 를 얻을 수 있다. 무부하 시험으로부터 얻어진 공급자속의 기본파 성분과 제3고조파 성분의 크기간의 미선형 관계식을 이용하여 공급자속의 기본파 성분을 추정할 수 있다.

고정자 전류 벡터를

$$i_s = i_g e^{j\theta_g} \quad (1)$$

라 하면 공급자속 벡터는 다음과 같다.

$$\lambda_g = \lambda_g e^{j(\theta_g - \tau)} \quad (2)$$

이 두 벡터로부터 회전자 자속을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\lambda_r = \frac{L_r}{L_m} \lambda_s - L_r i_s = \lambda_r e^{j\theta_r} \quad (3)$$

식(3)으로 표시되는 회전자 자속 추정치에서 회전자 자속 각 θ_r 는 동기속도로 회전하는 d축의 순시 위치를 나타내므로 벡터회전의 기준이 되는 각으로 사용하며, 회전자 자속의 크기 λ_r 은 자속의 궤환제어를 하는 경우 자속 궤환량으로 사용할 수 있다.

3. 유도전동기의 직접 벡터 제어 시스템

본 논문에서 제시한 유도전동기 벡터제어 시스템은 그림 1과 같다. 그림 1의 시스템에서 전류제어기는 고정자 좌표계 삼각파 비교 제어를 이용하였으나 히스테리시스 제어기나 동기속도 삼각파 비교 제어를 채택할 경우에는 PWM 부분만 수정하면 되고, 이것은 소프트웨어적으로 처리하게 되므로 하드웨어에는 큰 변경이 필요없다.

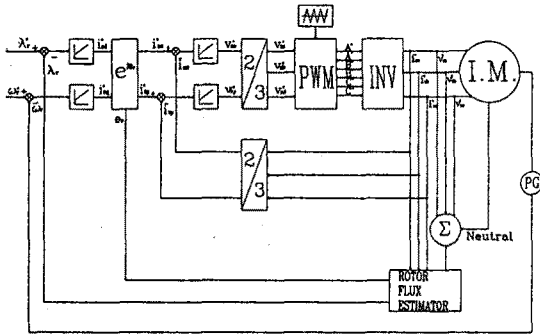


그림 1. 직접 벡터제어 유도전동기 구동시스템

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

4-1. 시뮬레이션 결과

그림 2는 각각의 전류제어기에 대해 과도 상태와 정상 상태시의 상전류 파형에 대한 시뮬레이션이다.

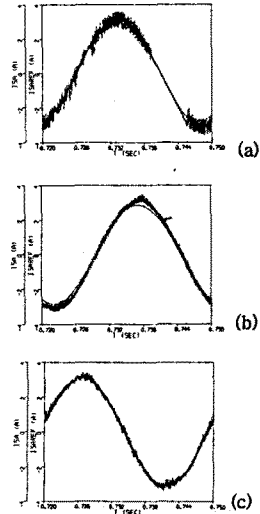
그림에서 보듯이 히스테리시스 제어기에서는 전류 오차가 히스테리시스 밴드의 2배까지 가능하며 전류 리플이 크다. 고정자 좌표계 삼각파 비교 제어기에서는 필연적으로 수반되는 위상 지연이 있음을 볼 수 있었고, 동기 속도 회전좌표계에서는 위상 지연이 없으며 전류 리플이 적음을 볼 수 있었다.

4-2. 실험 결과

공극자속의 기본파 성분과 제3고조파 성분간의 크기 관계는 전동기의 무부하 시험으로부터 구할 수 있다. 그림

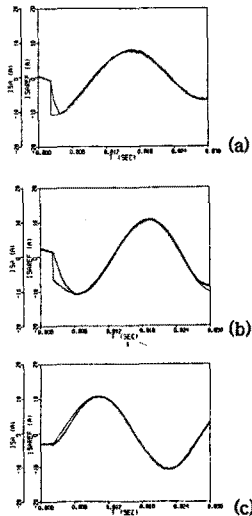
3은 고정자 상전압과 제3고조파 전압 파형 및 스펙트럼 분석 파형을 나타내고, 그림 4는 그 결과로부터 구한 공극 자속의 기본파 성분과 제3고조파 자속간의 크기 관계를 나타낸다.

그림 5는 제3고조파로부터 얻은 공극자속과 상전류를 앞의 식(3)에 적용하여 획득한 회전자 자속의 실수분과 허수분을 나타내고 그림 6은 회전자 자속의 공간 벡터이다.



(A) 정상 상태

(a) 히스테리시스 제어기 (b) 고정자 좌표계 삼각파 비교기 (c) 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교기



(B) 과도 상태

(a) 히스테리시스 제어기 (b) 고정자 좌표계 삼각파 비교기 (c) 동기속도 회전좌표계 삼각파 비교기

그림 2. 각 전류제어기의 상전류 파형

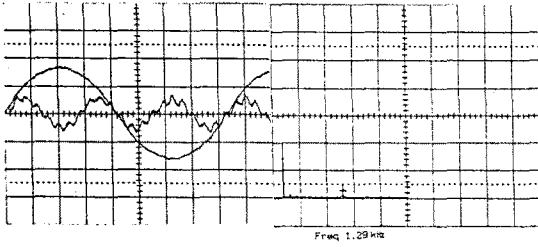


그림 3. 고정자 상전압과 제3고조파 전압 파형 및 스펙트럼 분석

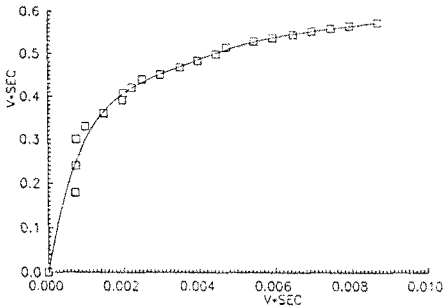


그림 4. 공극자속의 기본과 성분과 제3고조파 자속간의 크기 관계

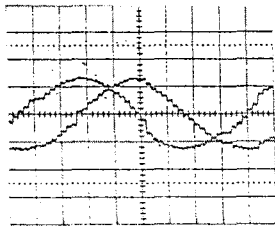


그림 5. 회전자 자속의 실수분과 허수분

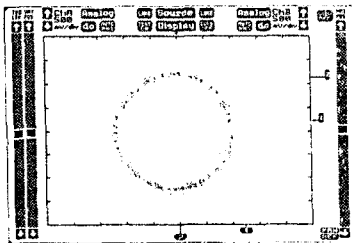


그림 6. 회전자 자속의 공간 벡터

5. 결론

본 논문에서는 최소의 센서를 가지고 이들 센서들이 진동기 구동에 큰 제한이 없는 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용하는 유도 전동기의 직접 벡터 제어시스템을 제

시하였다. 고정자 전압의 제3고조파 성분을 이용하여 회전자 자속 정보를 얻을 수 있음을 실험을 통하여 입증하였다.

이렇게 획득한 회전자 자속의 크기와 샘플링한 속도를 각각 자속 폐환제어의 폐환량과 속도 폐환제어의 폐환량으로 하고 전류 제어기를 이용하여 유도전동기의 벡터 제어 시스템을 구현하고 있다.

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. 528-545, 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.