

사이크로 콘버터에 의한 교류 전동기 슬립주파수
벡터 제어에 관한 연구

홍순일* 김성락
부산공업대학교

The Slip Frequency Vector Control of AC Servo Motor
by Cycloconverter Drive System

Soon-ill, HONG, Sung-rak, KIM
Pusan National University of Technology

Abstract - The paper describes the control strategy and hardware design for forced commutation cycloconverter which was developed for ac servo motor drive application of vector control. 12-pulse cycloconverter is used to investigate experimentally the performance of an induction motor drive system. The cycloconverter has the facility for continuous control of both the frequency and magnitude of the output voltage to keep a constant flux in the induction motors.

1. 서론

교류전동기 가변속제어는 입력 전원의 주파수와 그 전압의 크기를 연속으로 변화시킬 수 있는 교류전원 장치가 필요하다. 그 장치로 최근 실용화되어 있는 것은 직류를 교류로 변환하는 인버터, 상용 주파수의 교류를 다른 주파수의 교류로 변환하는 사이크로콘버터 등이 있다.

인버터는 일반적으로 PWM변조파를 걸어서 전동기에 흐르는 전류파형을 정현파상으로 하는 정압형이 많이 사용된다. 그러나 인버터를 이용하여 전동기를 제어할 경우에는 전동기 입력 주파수와 그 크기를 동시에 변화시키기 위하여 앞 단에 교류를 직류로 변환시키는 콘버터가 필요하고 혹은 인버터 자신이 이 역할을 하수 있도록 하는 방식이 강구되어야 하고 공극자속이 약 계자인 경우의 대책도 강구되어야 한다.

반면에 사이크로콘버터는 상용 교류전원의 주파수변환은 스위칭 소자를 이용하여 직접 행하므로 대전력 제어가 가능하고 전동기 속도제어 시스템 구성시에 효율이 전자보다 좋다.

따라서 본 연구에서는 대전력용 교류 서보전동기 제어에 적합한 사이크로콘버터를 설계제작하는 것이 연구의 목적이다.

2. 슬립주파수형 벡터제어

유도전동기 전압전류 및 토오크를 회전벡터로 표현하면 다음이 된다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + L_1 P & MP \\ MP - M\omega_m & r_2 + L_2 P - L_2 \omega_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

전동기 2차회로는 단락 되어 있으므로 식 (1)에서

$$M \left(\frac{di_0(t)}{dt} \right)_{a_0} + M(\omega_0 - \omega_m) \times R_2 i_0(t) = 0$$

이 되고

$$i_0 = i_1 + \frac{L_2}{M} i_2 \quad (2)$$

로 놓으면 벡터 i_o 의 진폭 $|i_0|$ 을 일정하게

제어하면 순시 토오크는

$$\tau = M |i_0| |i_2| \quad (3)$$

로 되고 $|i_0|$ 을 일정하게 제어하면 정상 상태에는 i_1, i_2, i_0 의 진폭은 일정하게 되므로 i_0 와 i_2 는 직교하게 된다. 그리고 순시 토오크는 2차전류 $|i_2|$ 에 지연되어 추종하고 응답 속도가 빠른 토오크 제어가 가능함을 나타낸다. i_0 는 직접 외부에서 검출하여 제어하기 어려우므로 싸이크로 콘버터에 의한 구동회로에 있어서 외부에서 직접 제어하기 위한 방법으로 1차 전류의 진폭 $|i_1|$ 과 그 주파수 ω_1 을 고정자 좌표상에서 제어하는 제어 조건을 도출하면 다음과 같다.

이 경우 슬립 각주파수 ω_{s1} 은

$$\omega_{s1} = \omega_0 - \omega_m = \frac{R_2}{L_2} \frac{i_2}{i_0} \quad (4)$$

식 (2.4)에서 $i_2 = -(L_2/M)i_1$ 라하면 다음이 된다.

$$i_1 = i_0 + i_2 \quad (5)$$

$\omega_{s2} = \omega_1 - \omega_0$ 로 놓으면

$$\omega_{s2} = \frac{1}{|i_1|^2} \times \left(\frac{di_2}{dt} \right)_{\omega_1} \quad (6)$$

이 된다. 그리고 i_0 와 i_2 는 직교함으로

(5)로부터

$$i_1^2 = \sqrt{i_0^2 + i_2^2}^2 \quad (7)$$

이 되고 1차전류 각속도 벡터는 다음 식으로 표시된다.

$$\omega_1 = \omega_0 + \omega_{s2} = \omega_m + \omega_{s1} + \omega_{s2} \quad (8)$$

식 (6)에서 슬립 각주파수의 과도형 ω_{s2} 는

$$\omega_{s2} = \frac{i_0}{i_0^2 + i_2^2} \frac{di_2}{dt} \quad (9)$$

식 (9)의 ω_{s2} 는 슬립 각주파수의 과도형이고 정상상태에서는 영이 된다. 그리고 슬립주파수 제어형 벡터제어는 슬립주파수 과도형을 포함하는 일종의 슬립 주파수 제어라 생각할 수 있고 자속피드포워드 제어형 벡터제어라 부른다. 이 제어방식은 약 자속검출을 필요로 하지 않는 반면 전동기 정수 특히 2차저항의 변화에 영향을 받는 결점이 있다.

3. 시스템의 구성 및 실험

그림 1은 지금 까지 유도한 제어 알고리즘에 기초하여 구성한 슬립 주파수 제어형 벡터제어의 기본 구성도를 나타낸다. i_2^* 는 토오크성분 전류이고 토오크 지령은 외부에서 주어지고 여자성분 전류 i_0 는 일정하게 설정한다. 전류지령 연산기에서는 1차 전류벡터의 진폭 i_1 과 각속도주파수 ω_1 이 입력되어 고정자 좌표상의 1차 전류지령 i_u^*, i_v^*, i_w^* 가 출력되고 싸이크로 콘버터는 히스테리시스 컴파레이터에 의해 전동기 입력전류 i_u, i_v, i_w 를 지령 전류값에 추종하여 제어한다.

본 벡터제어는 1차 전류벡터의 진폭과 슬립 주파수 ω_{s1} 과 과도슬립 주파수 ω_{s2} 를 조작량으로 하여 순시 토오크를 제어대상으로 한다.

따라서 슬립 주파수 제어에 비하여 매우 우수한 과도 특성을 얻을 수 있다.

싸이크로 콘버터는 1개의 전류(commutation)변압기에 3개의 SCR 스위치가 3개의 유니트로 결합되어 있으며 직접전류식 자여 스위칭회로로 구성되어 있어 소자의 수가 적고 구조가 간편하다. 싸이크로콘버터의 트리거방식은 펄스폭을 제어하는 방식을 제안한다.

이 경우 싸이크로 콘버터의 출력 전압의 크기는 다음 식으로 표현된다.

$$V = V_{\max} \times 2 \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\beta}{2} \right) \quad (10)$$

여기서 β 는 출력을 단락하는 구간이다.

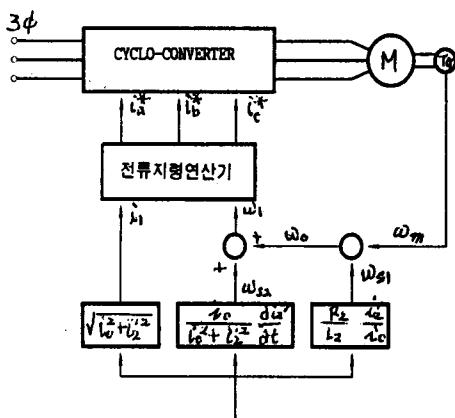


그림 1 슬립 주파수 벡터제어의 기본구성도

그림 2는 싸이크로콘버터 출력파형을 나타낸 것으로 그림(a)은 콘버터가 정상적으로 동작하여 이상적인 경우의 원리를 나타내는 출력파형이고, 그림(b)은 실제의 출력파형을 나타낸 것이다.

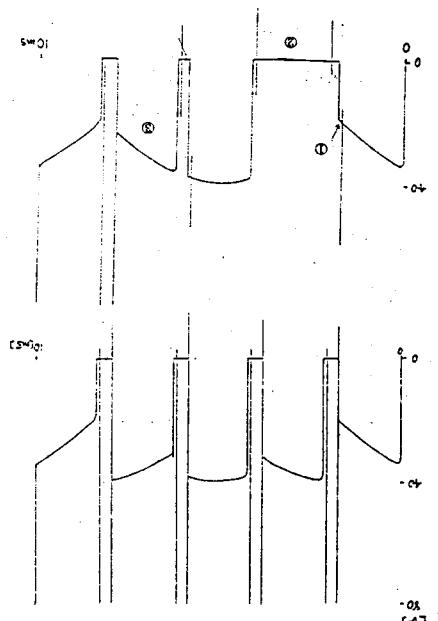


그림 2 싸이크로콘버터 출력파형

실제 출력 파형을 원리도 파형과 비교하여 고찰하면 다음과 같다. ① 구간에서는 전류실패로 인해 전류후의 전압이 영이되지 않는다. ② 구간은 소요전압이 출력되지만 출력전압이 영이되지 않는 구간이 있다. ③ 구간은 원리도와 다른 파형으로 되고 있다.

이상의 검토에서 회로 오동작의 가장 큰 원인은 전류실패 때문이고 이로 인해 출력전압이 영이되지 않는 구간이 생기고 원리도와 다른 파형으로 되는 구간도 생긴다. 또 전류 실패의 원인은 출력전압 측정시에 전류펄스의 변동이 관측되었고, 이로 인해 전류콘텐서 전압이 변동하기 때문이라 생각된다.

4. 결론

유도 전동기의 슬립 주파수 벡터제어 원리에 기초하여 수학적으로 모델링 하고 유도전동기를 벡터제어하기 위한 제어 알고리즘을 도출한다. 이 알고리즘에 기초하여 싸이크로 콘버터를 고속 SCR를 이용하여 설계 제작하여 각 회로의 동작 특성과 안정성을 조사한다. 그 결과 주파수가 이외로 높은 경우에는 고조파가 발생하였고 이것을 적게 하는 문제점이 발생하였다. 끝으로 교류전동기를 구동하여 실용성을 검토하였다.

参考文献

- [1] R.Hagmann and Nachbauer " Quick Response High Power Cycloconverter-drive Controlled by fully Digital Multiprocessor system", IEE 4th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, pp 57 - 62 1991.
- [2]. IEEE.IAS Static Power Committee "IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converter," IEEE Project pp519-525, July 1979.