

벡터제어방식에 의한 유도전동기 제어가 개발

°이선희*, 권혁*, 이상정*, 주형길*, 홍성일*, 이승학**
이천전기주식회사 연구소*, 전력연구원**

Development of Speed Controller in Induction Machine using Vector Control Method

°Lee Sun Hee*, Kwon Hyuk*, Lee Sang Jeong*, Joo Hyeong Gil*, Hong Sung Il*, Lee Seung Hak**,
Leechun Electric Co.,Ltd, Research Institute*, KEPRI**

Abstract - A vector control scheme is widely used in AC drive system in these days. In this country for commercializing the system, it has lots of dependency on advanced foreign technology. Therefore we have developed high-performance vector controlled inverter systems ourselves for two years whose capacities are 15kW, 30kW and 45kW. For computation of data in high speed DSP is employed and by using a IGBT with high switching the current ripple is reduced. Consequently, developed drive systems have high performance and accuracy on speed control. There are proved in experimental results.

1. 서 론

학계 중심의 연구활동이 활성화되고 있는 반면 상업화가 미흡한 고성능 벡터제어 인버터는 조만간 수입선 다변화 품목에서 제외될 것으로 보여 외국제품의 국내시장 장악이 예상되며 이는 가격, 기술경쟁력을 갖춘 외국제품이 직류드라이브 시스템의 교류화 추세에 기폭제 역할을 해 나갈 것으로 보인다. 한편 국내 몇몇 업체에서 외국과의 기술제휴로 생산하고 있으나 핵심기술, 부품의 해외의존도가 높은 관계로 외국제품과의 경쟁력이 떨어지는 실정이다.

당사가 2년6개월에 걸쳐 개발한 15kW, 30kW, 45kW 벡터제어인버터는 간접벡터제어 방식을 적용하였다. 유도전동기 파라메타 추정과 PI제어에서의 계인튜닝, Windup해결, 상위기종과의 시리얼통신운전, DSP에 의한 고속연산, IGBT를 사용한 방열기술 및 실장기술등을 설계하였고 국산화율을 높이기 위하여 핵심부품을 제외한 모든 것을 자체개발하였으며 전용전동기도 동용량급으로 개발하였다. 시뮬레이션과 다수의 부하시험등을 통하여 개발하였으며 공인기관인증시험을 거쳤다.

2. 본 론

2.1 간접벡터제어

벡터제어는 직접벡터제어와 간접 벡터제어로 구분할 수 있는데 직접 벡터제어는 자속값을 센서를 전동기에 취부하여 얻거나 계산에 의하여 자속을 구하는 방법으로 센서취부의 어려움과 자속값을 계산하는 과정에 도입되는 전동기 파라메타에 의존하므로 정확한 값을 추정하기가 어려워 실제 적용하는데 어려움이 있다. 반면에 간접 벡터제어는 전동기 속도정보를 이용하여 슬립각속도를 연산하는 방법으로 직접 벡터제어보다 실제로 구현하기가 쉽다. 본 논문에서는 간접 벡터제어 방식을 사용하였고 회전자 자속을 동기각속도에 일치하여 회전자속을 d축에 일치하도록 하여 다음과 같이 구현하였다.

유도전동기 접압 방정식은 다음과 같이 표현되고,

$$\begin{aligned} V_{d1} &= r_1 i_{d1} + p\lambda_{d1} - \omega_e \lambda_{q1} \\ V_{q1} &= r_1 i_{q1} + p\lambda_{q1} + \omega_e \lambda_{d1} \\ 0 &= r_2 i_{d2} + p\lambda_{d2} - (\omega_e - \omega_2) \lambda_{q2} \\ 0 &= r_2 i_{q2} + p\lambda_{q2} + (\omega_e - \omega_2) \lambda_{d2} \end{aligned} \quad (1)$$

자속방정식은

$$\begin{aligned} \lambda_{d1} &= L_1 i_{d1} + L_m i_{d2} \\ \lambda_{q1} &= L_1 i_{q1} + L_m i_{q2} \\ \lambda_{d2} &= L_m i_{d1} + L_2 i_{d2} \\ \lambda_{q2} &= L_m i_{q1} + L_2 i_{q2} \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서 $\lambda_2 = \lambda_{d2}$ 로 놓으면,

$$i_{q2} = -\frac{L_2}{L_2} i_{q1} \quad (3)$$

또 식(1)로부터 슬립각속도(ω_{sl})는

$$\omega_{sl} = \omega_e - \omega_2 = -\frac{r_2 i_{q2}}{\lambda_{d2}} = \frac{r_2}{L_2} \frac{i_{q1}}{i_{d1}} \quad (4)$$

로 구해지며 회전자속교차속위치는 식(4)를 적분하여 식(5)와 같이 구한다.

$$\theta_e = \int_0^t (\omega_2 + \omega_{sl}) dt \quad (5)$$

또 토오크는

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_2} \lambda_{d2} i_{q1} \quad (6)$$

과 같이 표현되며 인버터로 구성된 제어 블록도는 그림(1)과 같이 나타낸다.

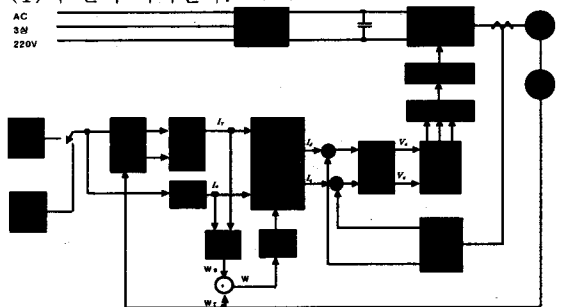


그림 1 간접 벡터제어 블록도

2.2 개발품 제어방식 및 특징

2.2.1 속도검출 및 속도제어

전동기의 속도를 검출하기 위하여 PG를 전동기 측에 연결하고 속도 계산을 위하여는 H/W와 S/W에서 구현하기에 복잡하지만 정밀한 속도를 얻기위하여 M/T방법을 사용하였으며 저속에서의 정밀한 속도를 계산하기 위하여 PG의 신호를 4배해하여 사용하였다. M/T방법을 사용한 전동기의 속도는 다음과 같이 표현된다.

$$N = \frac{60 \cdot f_c \cdot M_1}{P \cdot M_2} \text{ [rpm]} \quad (7)$$

여기서, N : 실제회전속도, P : 전동기 극수, M1 : 1회전당 PG펄스수, M2 : 실제클럭펄스수, fc : 기준클럭주파수이다

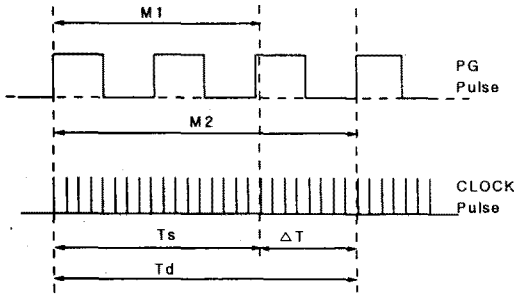


그림 2 M/T계산방법

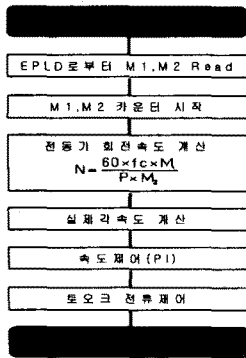


그림 3 속도제어루프

2.2.2 전류검출 및 전류제어

유도전동기의 벡터제어에서 빠른 과도응답 특성을 얻기 위하여 전류제어가 필요하며 일반적으로 인버터를 통한 유도전동기 구동시 전동기에 PWM 형태의 전압이 인가되는데 본 개발에서는 공간벡터 PWM 방식을 사용하였다. 2상의 전동기 입력전류를 검출하여 전류제어를 하였다.

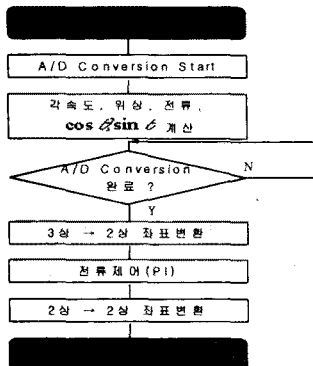


그림 4 전류제어 루프

2.3 개발품의 사양 및 구성

2.3.1 H/W의 구성

표 2에 개발품의 사양을 나타내었다.

명 목		사 양		
제 어 방 식		디지털 벡터제어, 공간벡터 PWM 방식		
제 어 특 성	적용 전동기	15kW	30kW	45kW
	입력전압	220V	380V	380V
	과부하 전류정격	150% 1분간		
	속도설정 분해능	1:500, 정밀도 0.1%		
	속도지령 신호	Analog (0~+10V, 0~±10V), Digital (BCD 4자리)		
	속도-토크 특성	2상한운전(정/역 운전)		
보 호 가 능	가감속 특성	직선 가감속(0~6000초), 다단운전 기능		
	토크 제한	0~200%		
	과전류, 지락검출, 과전압, 부족전압, 방열편과열, 인버터 과부하	과전류, 지락검출, 과전압, 부족전압, 방열편과열, 인버터 과부하		
보 호 가 능	전동기 보호	과부하, 과열, 과속도, P/G단선		
	시스템 보호	속도편차과대, 부하결상, 순시정전보호		
입 력 신 호	다기능아나로그 입력	보조속도지령 (±10%/±10V), 외부계인조정		
	점접 입력	정/역회전, 이상Reset, 다단속지령, 외부Gate Block, 다기능 입력		
출 력 신 호	다기능아나로그 출력	전류모니터, 속도모니터, 제어값출력, 토크모니터, 속도편차출력등		
	점접 출력	운전중, 속도일치, 운전준비완료, 다기능출력, 이상점접(AC 250V 0.5A, DC 30V 1A)		

표 1. 개발품 사양

2.3.2 H/W의 구성

유도전동기 운전에는 필요한 제반신호들과 전동기 구동에 필요한 신호를 발생시키는 시스템구성의 핵심이 되는 부분으로 프로세서부와 디코더부, 속도검출부, PWM발생부, 디지털 통신부, 아나로그 인터페이스부, 보호회로부 등으로 구성되어 있다. 주소자료는 아날로그 디바이스사의 ADSP-21020 DSP와 Lattice사의 ispLSI 1032 EPLD 그리고 A/D 컨버터로는 아날로그 디바이스사의 AD7874를 사용하였다. 대부분의 H/W로직은 EPLD 3개를 사용하여 구성하였다. 코더부에서는 프로그램 메모리와 데이터 메모리를 분리하여 디코딩하고 부트로직부는 DSP의 JTAG단자를 이용하여 초기 전원투입시 ROM의 프로그램을 프로그램 메모리나 데이터 메모리로 전달할 뿐 아니라 ROM프로그램대신 컴퓨터에서 직접 프로그램을 다운로드하도록 구성하였다. 스위칭 소자로는 현재 고속 스위칭소자로 산업체에서 널리 쓰이는 IGBT와 다이오드 정류기를 사용하였다. 사용자와의 인터페이스를 위하여 8개의 키와 LCD를 사용한 디지털 오퍼레이터와 아날로그 및 디지털 점접입력기능을 갖추었으며 컴퓨터와의 통신을 통하여 운전을 할 수 있도록 하였다.

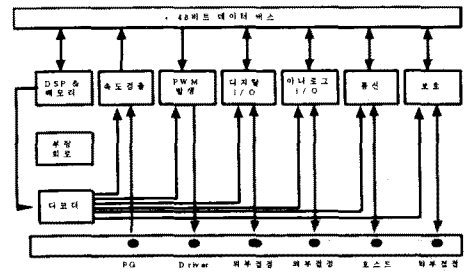


그림 5 제어부의 구성

2.3.3 S/W의 구성

프로그램은 운전모드와 프로그램모드로 구성되었으며 각 모드에 따라 운전변수들을 설정, 표시할수 있게 하며 파라메타들은 약 200개의 파라메타로 구성되었는데 속도관련파라메타, 표시파라메타, 제어파라메타, 전동기파라메타, 기타 운전파라메타등 5개의 파라메타군으로 구분되며 운전모드와 프로그램모드에 따라 설정권한을 달리하였다. 전류제어 100usec마다 발생하여 전류제어를 하며 속도제어는 전류제어루프 내에서 10msec주기로 제어한다.

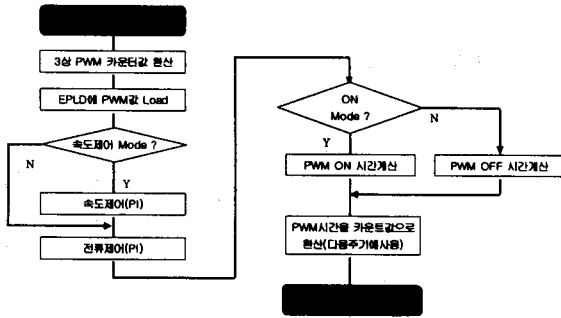


그림 6 인버터트 처리루프

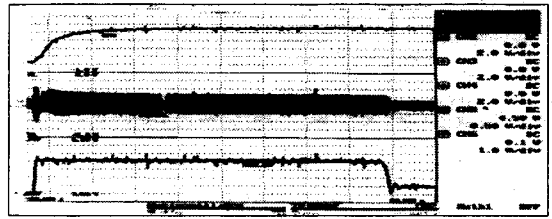


그림 9 무부하 가속시 속도, 전류, 토크전류파형 (9000rpm, 25A/1.0V, 시험파형)



그림 10 부하시험사진

2.4 전용전동기의 개발

상용전원으로 운전하는 전동기와 달리 인버터로 구동되는 전동기는 허용주파수 문제, 축전압, 소음 및 진동, 토오크리플, 냉각, 속도검출, 절연등의 문제를 고려하여야 하므로 설계시 이를 반영하여 15kW, 30kW, 45kW급 벡터제어 전용전동기를 개발하였다.

정격전압 및 용량	3 상 200V, 15kW
정 격 회 전 수	1750 RPM, 4 극
정 격 전 류	연속정격
정 격 토크	60 A
관 성 모 멘 트	8.57 kg · m
프 레 임	0.0925 kg · m ²
절 연 종 류	160L
씨 미 스텐 터	F 중
표준장착	표준장착
PG	1024 P/R 표준장착

표 2. 전용 유도전동기 사양(15kW)

2.5 시험결과

전류제어 주기 100 μ sec, 속도제어 주기 10 msec로 하였다.

Rs	0.168 [Ω]
Rr	0.141 [Ω]
Ls	0.0019 [H]
Lr	0.0019 [H]
Lm	0.043 [H]
J	0.0925 [kg · m ²]

표 3. 전용 유도전동기 파라메타(15kW)

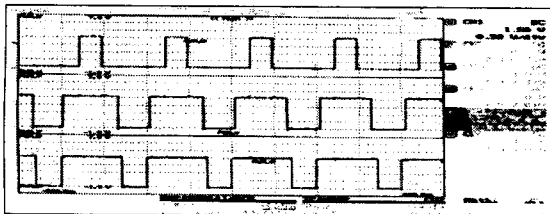


그림 7 PWM 파형

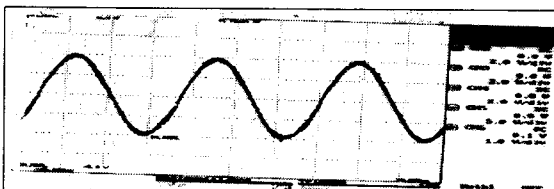


그림 8 정격부하, 정격회전시 전류파형 (1750rpm, 25A/1.0V, 시험파형)

3. 결 론

국내에서는 일부 소용량급에서 외국과의 기술제휴로 벡터제어 인버터를 생산하고 있고 그나마 중대용량급은 실장기술의 부족으로 스텝을 거의 수입에 의존하는 실정이다. 또, 외국 드라이브업체의 국내직접투자도 말미암아 외국기술제휴 중심의 인버터 생산은 한계에 있다고 본다. 이번에 당사에서는 한국전력공사 지원자금으로 순수 국내기술로 중용량 벡터제어 인버터를 개발하였고 철강, 크레인등의 부하에 적용할 예정이다. 인버터의 국산화를 높이기 위하여는 사용자의 외국제품을 선호하는 인식을 바꿀 필요가 있고 핵심부품 특히 IGBT의 경우 국내 일부업체에서 소용량급을 생산하고 있으나 신뢰성 검증과 용량을 확대할 필요가 있다. 또 국내에서 아직 벡터제어인버터에 대한 시험기준이 없어 시급히 이에 대한 제도적인 개선이 있어야 될 것으로 보인다.

이 논문은 통상산업부 주관 생산기술발전 5개년계획에 의거 제조업 경쟁력 강화를 위하여 한국전력공사 지원 자금으로 시행한 기술개발사업의 기술개발보고 중 일부입니다.

[참 고 문 헌]

- (1) Hiroshi Nagase, Yasuo Matsuda, Kazuo Ohnishi, Hisakazu Ninomiya, Toshio Koike, "High Performance Induction Motor Drive System Using a PWM Inverter" IEEE-IAS Annual Meeting Conference Record, Oct. 3-7, pp.596~603, 1983
- (2) 최중우, 설승기, "새로운 데드타임보상법을 이용한 인버터 출력전압의 합성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp.262, 1994
- (3) Gyu-Sik Kim, In-Joong Ha, "Control of Induction Motors for Both High Dynamic Performance and High Power Efficiency", IEEE, Vol 39, No 4, August 1992