

# 산업용 ROBOT와 공작기계를 위한 AC SERVO MOTOR 제어기 개발

임상권<sup>\*</sup>, 이진원, 문용기, 전동렬  
진상현, 오인환, 김동일, 김성권

삼성전자 생산기술본부 제어기술개발팀

## DEVELOPMENT OF AC SERVO MOTOR CONTROLLER FOR INDUSTRIAL ROBOT AND CNC MACHINE SYSTEM

Sang-Gwon Lim<sup>\*</sup>, Jin-Won Lee, Yong-Ky Moon, Dong-Lyeol Jeon  
Sang-Hyun Jin, In-Hwan Oh, Dong-Il Kim, Sung-Kwun Kim

Control R/D Team, Production Engineering Division, Samsung Electronics

### Abstract

AC servo motor drives, Fara DS series, proposed in this paper can be effectively used in robots, CNC machine tools, and FA system with AC servo motors as actuators. The inverter of the AC servo drive consists of IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) which have high switching frequency. Noises and vibrations generated in variable speed control of AC servo motors can be greatly reduced due to their high switching frequencies. In the developed servo drive, maximum torque is always generated in the whole speed range by compensating phase shift, which results from the nonlinearities of the AC servo motor during abrupt acceleration and deceleration. Abundant protection functions are provided to prevent abnormal state of the servo motor, and furthermore diverse user options are considered provided for the effective application. The proposed AC servo motor drive is designed to minimize velocity variation with respect to external load, supply voltage, environmental temperature, and humidity, so can be widely used in the fields of factory automation including robots and CNC machine tools.

### 요약

본 논문에서 제안한 Fara DS Series의 AC SERVO (DC BRUSHLESS) MOTOR 제어기는 ROBOT, CNC, 각종 공작기계 및 FA 기기에서 MOTOR를 구동원으로 사용하는데 사용되는 제품이다. AC SERVO MOTOR DRIVE의 Inverter에 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하여 Switching 주파수를 높임으로써 Motor를 가변속 제어할 때 발생하는 소음 및 진동을 극소화 하였다.

또한 일반적으로 Motor 속도제어를 급감속으로 제어할 때 Servo Motor의 비선형 특성으로 인한 전류위상율 보상하여 모든 동작기간에서 최적의 상태의 제어가 되도록 개발하였다. 그리고 다양한 User Option 기능을 내장하여 User가 원하는 제어대상에 효과적으로 적용할 수 있도록 하였다. 아울러 MOTOR 제어기에 내장된 다수의 보호기능을 통해서 Motor 운전중 발생하는 이상상태에 대해 제어를 보호할 수 있도록 하였다.

제안한 제어기는 부하변동, 전압변동, 온도변동에 대해 속도변동을 최소화 함으로써 ROBOT, CNC 등 FA 분야에서 폭넓게 이용할 수 있다.

### 1. 서론

최근 마이크로 프로세서를 이용한 제어기술의 발전은 여러분야에 이를 적용하여 제어대상을 최적제어함으로써 제품의 성능 및 기능을 향상 시켰다. 특히 생산라인의 자동화는 제품의 원가절감, 품질향상, 고생산성 다품종 소량생산 등 여러가지 면에서 필요성이 증대되고 있어 자동화에 필요한 제품의 수요가 증가하고 있다. 이러한 자동화 기계(ROBOT, CNC)에 있어서 AC SERVO DRIVE는 상위 제어 시스템과 함께 필수적인 제품중의 하나로 자리잡고 있다.

특히 기존 많이 사용되어 온 DC SERVO MOTOR는 Brush, 정류기 등 기계적인 부분 때문에 정기적인 보수 및 점검이 필요하며, 고속운전, 대형화, 성능, 수명에 한계가 있어 90년대 이후 DC에서 AC Motor로 시장이 대체되어 가고 있다.

본 논문에서 제안한 Fara DS Series의 AC SERVO MOTOR DRIVE는 고성능의 One Chip Micro-processor를 이용하여 전류제어 부분을 제외한 모든 부분을 Digital화 하였으며 보호기능 및 User Option 기능을 Software로 처리하여 기존의 Analog 제어 방식에서 나타나는 Noise 및 환경의 영향을 제거 하였다.

그리고 DC 전압을 INVERTER에 공급할 때 전원을 위상제어를 함으로써 입력전원(3상 220V, 단상 110/220V 50/60Hz)에 관계없이 사용할 수 있다.

그리고 Motor를 급가감속으로 운전하는 경우 발생하는 Motor의 역기전력에 의한 DC 전압의 상승을 방지하기 위해 회생제어함으로써 제어기의 신뢰성을 증대할 수 있었으며, 이상상태에서 Motor를 급정지하기 위해 Dynamic Braking 제어부를 내장했다.

또한 Fara DS Series는 User의 폭넓은 제품선택을 위해 Motor 종류 및 용량, 위치 Sensor의 종류 및 분해능, INVERTER에 공급되는 DC전원에 따른 전원 일체형, 전원 분리형으로 시리즈화 하여 개발했다.

특히 국내 최초의 Servo Drive 개발 및 여러가지 자동화기계의 적용에서 얻어진 경험을 바탕으로 만들어 낸 제품으로 성능, 기능 및 신뢰성이 우수하여 NC 공작기계, ROBOT 등 FA 기기에서 요구되는 고응답성, 고신뢰성, 범용성 등의 특성을 얻었다.

## 2. AC SERVO MOTOR DRIVE 구조

Fara DS Series SERVO MOTOR DRIVE의 주요 특성은 부하변동, 외부전압변동, 외부환경변동에 따른 속도 변동율이 아주 작고, 보호기능 및 User Option사양을 광범위하게 수용한 제어기이다.

Fara DS Series SERVO DRIVE는 DC전원이 내장된 전원일체형과 DC전원을 외부에서 공급받는 전원분리형이 개발되어 있으며, DC를 공급할 수 있는 POWER CONTROLLER가 개발되어 있다.

그림1은 Fara DS Series Servo Motor Drive의 제어 블록도이며 그림2는 Fara DS Series의 SERVO 제어기의 주요 구성을 나타낸 것이다.

### 2-1 POWER CONTROL부

3상 220V, 단상 110/220V 를 입력하여 DC 150/310V 를 발생하는 전원위상 제어부와 INVERTER에 IGBT를 사용하여 Switching frequency를 높임으로써 TR사용시 발생하는 Motor의 Switching 소음 및 진동을 줄이기 위한 INVERTER부 와 MOTOR의 역기전력에 의한 전압 상승을 방지하는 회생제어부, MOTOR 급제동시 이를 제어하는 DYNAMIC BRAKING제어부가 내장되어 있다.

그밖에 전류, 전압검출부 및 Switching Power Supply가 있다.

### 2-2 SERVO MOTOR제어부

제어부는 크게 속도제어부, 전류제어부, 기타 제어부로 나눌수 있으며 이들 제어는 고성능의 One Chip Microprocessor(78C310)에 의해 전류 PI제어부를 제외한

전부분을 Digital화 하여 Motor의 제어 특성을 향상시켰다.

#### 2-2-1 속도제어부

Motor의 정밀속도제어를 위한 속도제어부는 다음과 같이 구성되어 있다.

- RESOLVER, ENCODER에 따른 속도 및 위치 검출회로
- PID제어회로
- Field weakening 제어회로
- ENCODER신호의 1/N (N = 1, ..., 255)분주회로

#### 2-2-2 전류 제어부

실제로 MOTOR의 토크를 제어하는 전류제어부는 다음의 기능들을 가지는 회로들로써 구성되어 있다.

- 초기 전류명령 설정회로
- 전류 PI 제어부회로
- 사다리꼴 및 SIN파 역기전력에 따른 전류명령 ( $I_u^*$ ,  $I_v^*$ ,  $I_w^*$ ) 발생회로 (그림3, 4)
- MOTOR 상전류제어를 위한 PWM발생 및 DEAD TIME 제어회로
- 역기전력정보를 이용한 MOTOR 속도에 따른 전류 위상 지연 보상회로 (그림5)

#### 2-2-3 기타 제어부

- SERVO DRIVE보호기능 처리 및 ALARM발생 회로
- USER OPTION 기능 처리회로
- 회생제어 및 DYNAMIC BRAKING제어 회로
- 입출력 제어회로

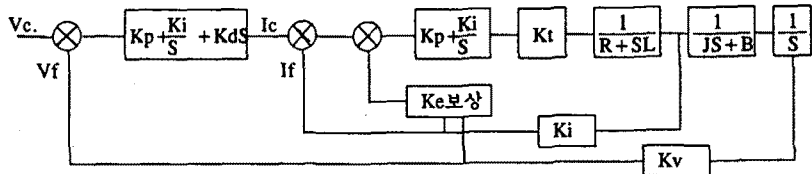


그림 1. Fara DS Series SERVO MOTOR DRIVE의 제어기의 블록도

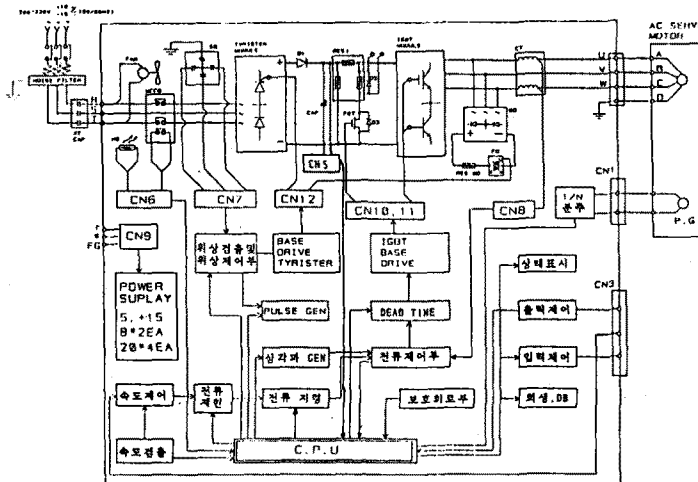


그림 2. Fara DS Series SERVO MOTOR DRIVE의 시스템 구성도

### 3. AC SERVO MOTOR 기본제어원리

#### 3-1 Current Commutation

AC Servo Motor의 최대 토크발생을 위해서 Current Commutation이 필수적이다. AC Servo Motor는 일반적으로 Sine파와 Trapezoidal역기전력을 가지는 두 가지 종류가 있으며, Current Commutation을 위하여 각 Motor의 특성을 고려한 회전자위치검출센서를 가지고 있다. 제한한 AC Servo Motor Drive는 역기전력의 형태와 회전자위치검출센서에 구애받지 않고, 모든종류의 Motor를 제어할 수 있는 Current Commutation 기능을 제공하고 있다. 이제 Sine파와 Trapezoidal 역기전력을 가지는 AC Servo Motor의 Current Commutation을 설명한다.

실제 AC Servo Motor Drive의 전류명령 발생부는 MOTOR에 인가되는 다음의 수식으로 표현되는 전류명령을 발생시켜

$$\left. \begin{aligned} i_u &= I_m \sin(\omega t) \\ i_v &= I_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ i_w &= I_m \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

영구자석 동기 MOTOR에 인가하여, 인가전류, 즉 전기자전류와 영구자석 회전자 자속에 의해 표시되는 Torque를 발생시킨다.

이 경우 각상의 전기자 전류에 의해 다음과 같이 표현되는 자속이 발생한다.

$$\left. \begin{aligned} \Phi_u &= \Phi_m \cos \theta \\ \Phi_v &= \Phi_m \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \Phi_w &= \Phi_m \cos(\theta - 4\pi/3) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

그러면 3상영구자석 동기 MOTOR에서 발생하는 Torque는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T &= K(\Phi_u i_u + \Phi_v i_v + \Phi_w i_w) \\ &= 1.5 K \Phi_m I_m \sin(\omega t - \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서  $\omega t - \theta = \pi/2$ 일때 다음과 같은 최대의 토크가 발생함을 알 수 있다.

$$T_{max} = 1.5 K \Phi_m I_m \quad (4)$$

Current Commutation는 식(1)에 의해 위치 SENSOR DATA를 기준으로 발생하며 Fara DS Series는 다음과 같이 Motor Rotor 형상에 따른 전기자 전류에 직교된 자속파형이 사다리꼴 및 SIN파를 갖을때 전기자 전류를 다음과 같이 발생한다.

그림 3.은 전기자 전류에 대해 사다리꼴 파형의 자속을 갖는 Motor의 전기자 전류발생용 나타내며 그림 4.는 전기자전류에 대해 Sin파의 자속을 갖는 Motor의 전기자 전류발생을 나타낸것이다.

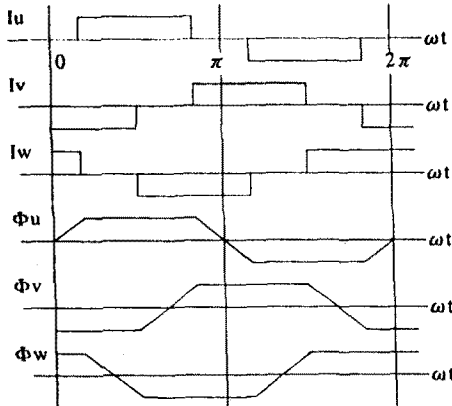


그림 3.사다리꼴 자속을 발생하기 위한 전기자전류명령

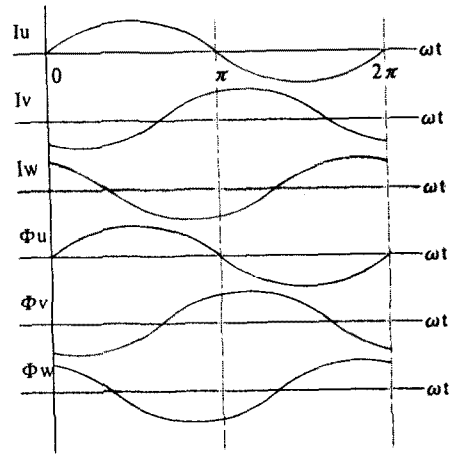


그림 4. SIN파 자속을 발생하기 위한 전기자 전류명령

#### 3-2 MOTOR 역기전력에 의한 전류 위상 보상

유기전력이  $E_a$ , 단자 전압이  $V$ , 전기자전류  $I_a$ , 전기자 권선의 전기자 권선의 Reactance를  $X_a$ , 전기자 권선의 저항을  $R_a$ 라 할때  $i_d=0$ 이면  $T_q=I_a$ 가 되어 SERVO Motor의 Vector도는 다음과 같이 표현된다.

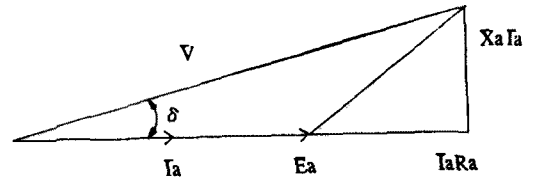


그림 5. SERVO MOTOR의 벡터도

단자 전압은 다음과 같은 식으로 표현될수 있다.

$$V_a = E_a + (R_a + j\omega L_a) * I_a \quad (5)$$

여기서 역기전력 상수  $K_e(V/Krpm)$ 를 고려하면 다음과 같다.

$$= K_e * N / 1000 + (R_a + j\omega L_a) * I_a \quad (6)$$

유기 기전력에 의한 전류지연각  $\delta$ 는 다음과 같이 구별할수 있다.

$$\delta = \text{ARC TAN} \left( \frac{2\pi * P * N / 120}{I_a R_a + K_e * (N / 1000)} \right) \quad (7)$$

여기서 P는 Motor의 극수이며, N은 Motor의 회전 속도이다. 역기전력 보상각  $\delta$ 는 전에 설명한 Current Commutation에서 발생하는 전기자 전류를 발생시 속도와 전류를 검출받아 이를 보상하면 식(1)은 다음과 같이 된다..

$$\left. \begin{aligned} i_u &= I_m \sin(\omega t + \delta) \\ i_v &= I_m \sin(\omega t - 2\pi/3 + \delta) \\ i_w &= I_m \sin(\omega t - 4\pi/3 + \delta) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

3-3 Fara DS Series SERVO MOTOR DRIVE의 사양 표1.은 전원일체형 4KW이하의 Fara DS Series SERVO DRIVE에 관한 사양일부를 나타내고 있다.

표1. Fara DS Series의 SERVO DRIVE의 사양

MODEL 명		DS11			
형식	RESOLVER ENCODER	-04753R12S -04753E60S	-09553R12S -09553E60S	-20053R12S -20053E60S	-35053R12S -35053E60S
적용 MOTOR 용량		470W	950W	2000W	3500W
S MOTOR 정격회전		2000 RPM			
시연속 최대출력		3.9 Arms	6.2	15.4	22.5
리최대 출력전류		11.7 Arms	18.6	46.2	67.5
즈 적용 MOTOR형식		MS10-047E60	MS10-095E60	MS10-200E60	MS10-350E60
형식		DS11			
적용 MOTOR 용량		30W	65W	120W	250W
R MOTOR 정격회전		3000 RPM			
시연속 최대출력		0.6 Arms	1.3	2.2	4.0
리최대 출력전류		1.8 Arms	3.9	6.6	12.0
즈 적용 MOTOR형식		MR10-003R02	MR10-006R02	MR10-012R02	MR10-025R02
형식		DS11			
적용 MOTOR 용량		30W	65W	125W	300W
S MOTOR 정격회전		3000 RPM			
시연속 최대출력		0.5 Arms	0.9	2.1	4.6
리최대 출력전류		1.5 Arms	2.7	6.3	13.8
즈 적용 MOTOR형식		MS10-003E10	MS10-006E10	MS10-012E10	MS10-025E10
입력 전원		3상 AC 220V +10 -15% 50/60Hz			
제어 방식		FET OR IGBT PWM 제어			
위치 SENSOR		RESOLVER 2, 4, 6, 8 P/DLE 1024, 4096, 16384P/REV 1상 입력 2상 출력 INCREMENTAL ENCODER 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 P/REV			
위치 출력		1000 P/REV ENCODER DATA 1/N 분주 (N=1-225)			
사용 온도		0 ~ +55 °C			
보존 온도		-30 ~ +85 °C			
보존 사용 습도		90%이하 (결로현상 없음)			
속도 제어 범위		1:3000			
속도 변동률		부하 변동 0~100% : ±0.03%이하 (정격회전에서), ±0.015% (정격회전/3000에서) 전압 변동 정격 ±10% : ±0.1%이하 (정격회전에서), ±0.05% (정격회전/3000에서) 온도 변동 25±25°C : ±0.5%이하 (정격회전에서), ±0.2% (정격회전/3000에서)			
주파수 특성		100Hz (GD) 'GDm'			
입출력 속도 지정		DC 0 ~ ±10V 입력에 대하여 정격회전수			
보조 속도 지정		DC ±2 ~ ±10V에서 정격회전수			
토오크 제한 입력		DC ±3 ~ ±9V 100%~300%			
SERVO 입력 기능		SERVO ON/OFF, P동작, 정역막힘금지, 외부 RESET, 외부 전류 제한			
SERVO 출력 기능		SERVO READY, TG ON, 전류제한중, SERVO ALARM			
보호 기능		과전류, 과속도, 과부하, 부족전압, MOTOR, INVERTER과열, P/G이상			
표시 기능		보호기능 표시, SERVO ON/OFF, RUNNING상태			
DYNAMIC BRAKE		내장 (무전접 소자 사용)			
회생 저항		내장			
적용 부하		MOTOR ROTOR GD '의 5배 이하			
속도 MONITOR		2.0V ± 5%/정격 속도			
토오크 MONITOR		3.0V ± 5%/정격 토오크			

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 Fara DS Series SERVO DRIVE는 순수 자체 기술로 국내에서 처음으로 모든 용량의 AC SERVO (Brushless DC) Motor 제어에 적용되는 제품이다.

특히 고성능의 One Chip MicroProcessor를 사용하여 전류 PI부를 제외한 모든 부분을 Digital화 하여 기존 Analog Servo Drive에서 나타나는 Noise 및 외부환경변화의 영향을 제거하여 취약한 환경하에서도 고정도, 고정밀도의 속도제어가 가능하며, User의 Option 선택기능을 다양하게 내장시켜 USER의 용도에 따른 최상의 SYSTEM 구현이 가능하다.

또한 다수의 보호기능을 내장시켜 이상상태 발생에 따른 완벽한 감시로 고신뢰성유 구현할 수 있다.

그리고 Motor 종류 및 용량, 위치 센서 및 분해능에 관계 없이, 전천 일체형 혹은 분리형별 Model를 Series화 하여 개발하였다.

본 논문에서 제안한 Fara DS Series SERVO DRIVE를 이용 ROBOT, CNC 등 공장자동화용 위한 FA기에서 폭넓게 사용할 경우 제품의 품질향상, 원가절감, 고생산성등을 제고하여 생산 LINE의 성역화를 이룰수 있으리라 생각되어 진다.

앞으로의 SERVO DRIVE는 DSP (Digital Signal Processing) Chip을 사용하여 모든 부분을 Digital화 하고, 정밀 위치 Sensor를 탑재하여 고정밀도의 SYSTEM를 개발하여야 한다.

#### [참고문헌]

- [1] 川村, Brushless Servo Motor의 선택 및 사용방법, 전자출판소(일본), 1986.
- [2] Antonino Fratta and Alfredo Vagati, "DC Brushless Servo Motor : Optimizing The Commutation Performances," IEEE, 1986.
- [3] Samsung Fara Servo Motor Drive User Manual, Samsung Electronics, 1991.
- [4] Satoshi Ogasawa and Hirofumi Akagi, "A High Performance AC Servo System with Permanent Magnet Synchronous Motor," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.33, no.1, 1986
- [5] P. Pily and R. Krishnan, "An Investigation into the Torque Behaviour of a Brushless DC Motor Drive," IEEE, 1998.