

電力電子에서의 마이크로프로세서 응용 기술

金光培
(正會員)

韓國科學技術院 電氣制御研究室長

I. 서 론

電力電子 분야에서 마이크로프로세서의 응용은 그 깊이와 범위를 날로 더하여 가고 있다. SCR, power transistor, GTO 등 스위칭소자의 구동신호를 소프트웨어를 이용하여 I/O port를 통하여 직접 발생하거나,¹⁾ 복잡한 연산이 필요한 제어 알고리즘을 수행하는 등 마이크로프로세서는 電力電子에 적극 이용되는 추세이다. 마이크로프로세서의 발전속도는 그 역사에 비해 비약적으로 발전하여 초기의 8 bit의 word size와 1 MHz 정도의 동작 clock 주파수가 현재는 32bit의 word size와 30MHz를 넘는 CPU가 등장하기에 이르렀다.^{2,3)} 또한 集積度의 증가로 single-chip 마이크로프로세서가 등장하기도 하며 ROM을 제외한 주변 IC가 one-chip에 수용되는 등 설계자 유도의 폭이 확대되고 있다.⁴⁾ 점점 그 중요성이 대두되는 마이크로프로세서 응용기술에 대하여 살펴보기로 한다.

II. 마이크로프로세서의 개발현황⁵⁾

마이크로프로세서를 이용한 電力電子 기기는 보통 그림 1 과 같은 기본구조를 가지고 있다. 마이크로프로세서에 ROM, RAM 및 peripheral IC가 연결되며 peripheral IC는 isolation amplifier나 pulse amplifier를 통하여 전력소자에 연결된다. 본 절에서는 마이크로프로세서 및 주변 IC에 대하여 알아 본다.

1. 마이크로프로세서

마이크로프로세서의 발전방향은 크게 3 가지로 분류할 수 있다.

첫째는 8 bit에서 16bit, 32bit로 마이크로프로세서가 처리하는 word size를 크게 하며, 동작주파수를 높여 data의 처리속도를 빠르게 하는 경향으로, 최근의 32bit 마이크로프로세서는 메인프레임 컴퓨터에 필적할 만한 처리속도를 가지며, 고급언어를 사용하기에 적합한 기

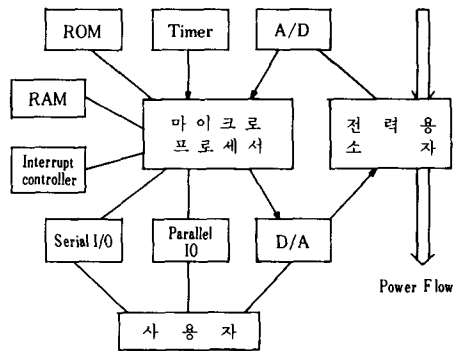


그림 1. 마이크로프로세서를 사용한 전력전자 기기의 구성

종도 출현하고 있다. 8 bit 마이크로프로세서는 Intel의 MCS-85와 Motorola의 M6809, Zilog의 Z-80등이 대표적이라 할 수 있으며, 16bit 기종은 Motorola의 M68000계열의 마이크로프로세서와 Intel의 MCS-86계열의 IC가 있다.

32bit 기종은 8 bit와 16bit 마이크로프로세서를 개발한 Intel과 Motorola에서 80386과 M68020등이 개발되었고, 메인프레임 컴퓨터의 개발에 경험이 많은 AT & T와 National Semiconductor사에서 WE32100과 NS32532를 새로 개발하였다.

둘째로 기존의 8 bit나 16bit 마이크로프로세서를 보강하는 발전방향으로 마이크로프로세서 주변의 IC를 chip 내부에 수용하며, NMOS에서 CMOS로 chip을 새로 설계하여 전력의 소모등에서 우수한 기종을 개발하는 경향으로 표 1에 대표적인 예를 보여주고 있다.

이 계열의 IC는 기존의 소프트웨어를 수정없이 사용할 수 있는 장점이 있다.

셋째로는 chip상에 CPU, ROM, RAM 및 I/O port를 集積하여 one-chip으로 컴퓨터기능을 갖게 하는

표 1. 기존의 CPU를 보강하여 새로운 IC를 개발한 예

IC	HD 64180	M6802	80186 (80188)
CPU	Z80	6800	8086 (8088)
기능	CLOCK TIMER * 2 MMU DMA * 2 SERIAL PORT	CLOCK RAM	CLOCK DMA * 2 TIMER * 3 INTERRUP CONTROLLER
제조 기타	Hitachi CMOS	Motorola	Intel

표 2. Intelligent 기능이 없는 peripheral IC

제 조 회 사	Intel	Motorola	Zilog
기본 정보 접속장치	8255	6820PIA 6821	PIO
시스템 접속 소자 (통신용)	8251	6850 6851	SIO 28470
타이머 및 계수기	8253	6840	OTC
CRT 화면 제어소자	8275	6845	
Key 보드 및 표시장치 제어소자	8279	2671~5	
DMA 제어소자	8257 8237	6844	DMA

single-chip 마이크로프로세서 또는 마이크로컨트롤러를 개발하는 경향이다. 8 bit 마이크로컨트롤러는 Fairchild F3870을 효시로, 현재는 Intel의 MCS-51과 Motorola의 M6805, M6801, M6811 등이 주류를 이루고 있다. 16bit 기종으로는 Intel의 MCS96이 있으며 Motorola의 68100이 있다. 마이크로컨트롤러는 A/D 변환기와 PWM 출력을 가진 기종도 있어 電力電子기에 응용하기에 적합하다.

2. Peripheral IC

입출력 장치에 쓰이는 IC는 초기에는 마이크로프로세서에서 직접 제어하는 IC가 쓰였으나 점차 intelligent 기능이 부가된 IC가 채용되는 추세이다. 즉 특수한 형태의 마이크로컨트롤러를 peripheral IC로 사용하게 되는 것으로, 컴퓨터가 고기능화 되어 갈 수록 intelligent 기능이 있는 peripheral IC의 채용이 일반화 될 것이다. 표 2에는 intelligent 기능이 없는 IC를 소개하고 있으며, 표 3에서는 대표적인 intelligent 기능이 있는 peripheral IC를 소개하고 있다.

3. A/D 변환기

전압이나 전류등 analogue 값을 디지털 값으로 변환하는 소자이다. A/D 변환기는 flash type과 축차비교형, 이중적분형 등 여러 형태가 있으며 전력기기에는 변환속도가 비교적 빠른 축차비교형이 주로 쓰이고 있다. 마이크로프로세서에 A/D 변환기의 접속은 parallel port나 serial port를 통하여 연결하기도 하며, 일부는 data bus에 직접 연결하기도 한다.

Analogue 값이 digital로 변환되는 과정에서 analogue 값은 quantization되어 noise가 혼합되는 것과 같은 현상이 있으며, analogue와 digital system이 혼재하는 관제로 외부교란 noise에 약하게 된다.

이러한 문제는 shield로 외부교란 noise를 차단하며, digital 부분과 analogue 부분을 분리하는 ground 법

표 3. Intelligent peripheral IC

세 품 명	M68120	UPI-41
CPU	M6800 RAM, ROM	MCS-48
기능	Parallel I/O Serial I/O	Parallel I/O Interval Timer
제 조 회 사	Motorola	Intel

을 채택하여 분리할 수 있으나 실제에서는 많은 어려움이 있다. 이런 문제를 해결하는 방법으로 analogue 회로와 digital 회로가 일체화된 회로모듈이 각사에서 개발되고 있다.

그림 2는 analogue mux, instrument amplifier, sample & hold 및 A/D converter가 1개의 package 내에 수용된 모듈의 구성을 보여주고 있다.^[6]

4. 마이크로프로세서의 다중화^[7,8]

제어기의 구성이 복잡해지고 한개의 마이크로프로세서로는 처리할 수 없을 정도로 계산량이 요구되는 경우에는 몇개의 마이크로프로세서를 채용하여 기능별로 분담, 처리하는 것이 바람직하다. 마이크로프로세서를 다중화 시키는 기술로서는 공용메모리를 이용하여 data를 수수하는 방법과 통신을 이용하여 data를 수수하는 방법이 있다. 공용의 메모리를 가지는 방법에는 dual port RAM이나 bus arbiter 등의 활용기술이 필요하며 통일된 bus system이 필요하다. 통신에 의하여 다중화시키는 경향은 single-chip processor에서 두드러지는 현상으로 Intel의 MCS-51이나 Motorola의 M6805등 마이크로컨트롤러의 serial port는 multi-processor mode를 구비하고 있다. 電力電子 기기에서는 수 μ sec 내에 통신을 완료하여야 한다는 경우가 드물

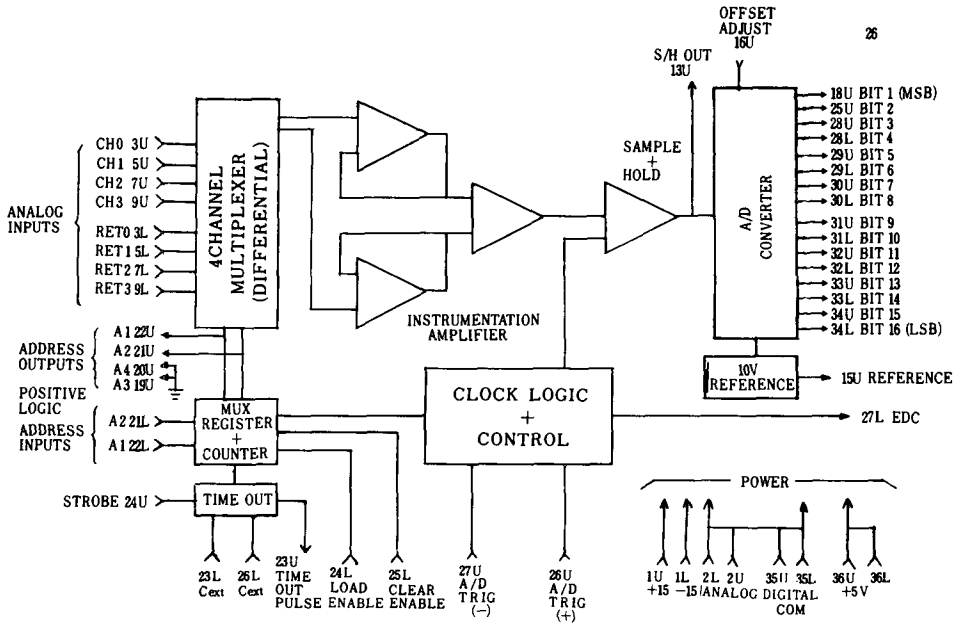


그림 2. 모듈화된 A/D 변환기

기 때문에 복잡한 logic이 필요한 메모리를 공유하는 방법보다 비교적 간단히 통신에 의해 다중화하는 방법이 적당하리라 본다.

Ⅲ. 마이크로프로세서 응용의 잇점 및 제약사항

1. 기능상의 장점

○ 높은 정밀도, 재생성 및 線形性

Analogue 회로에서의 드리프트(drift) 문제와 부품의 노화에 따른 파라메타 변화에 대한 문제가 없다. 또한, analogue 회로에서 처리하기 힘든 오버프로우 문제는 소프트웨어에 의해 처리할 수 있으므로 넓은 범위에 걸쳐 線形性을 가질 수 있다.

○ 耐 노이즈성

電力電子시스템에서는 전력소자의 스위치에 의해 제어회로에 노이즈가 유기되어 오동작 또는 제어불능의 상태가 일어날 수 있다. 디지털 회로에서는 集積회로기술에 의해 이러한 노이즈에 대한 문제를 analogue 회로에 비해 쉽게 해결할 수 있다.

○ 통신기능

마이크로프로세서를 응용한 電力電子시스템은 산업기기의 자동화에 따른 遠隔制御 또는 상위 컴퓨터와의 정보교신에 의한 分散制御가 가능하다.

○ 自己監視 기능

현재 기기의 동작상태를 체크하고 동작의 이상여부를 사용자에게 알려 주는 自己監視기능을 소프트웨어에 의해 쉽게 실현시킬 수 있다.

2. 설계 및 제작에 관한 잇점

○ 표준화 가능성

마이크로프로세서 시스템의 하드웨어는 소프트웨어에서 필요로 하는 조건을 만족시키도록 범용성있게 설계될 수 있으며 bus 시스템의 규격화에 의해 표준화가 가능하다.

○ 소프트웨어에 의한 가변성

소프트웨어의 변경, 추가, 삭제에 의하여 제어알고리즘의 변경을 쉽게 실현할 수 있다.

3. 제약사항

○ Quantization error와 sampling effect

제어신호의 A/D, D/A변환시 변환기의 bit 수 제한에 의해 quantization error가 발생하며, 제어 알고리즘의 연산을 위한 sampled data control system 구성으로 sampling effect가 존재한다.

○ 개발 및 보수 유지에 따른 제약

소프트웨어에 의한 제어알고리즘의 실현으로 오실로

스코프에 의한 측정만으로는 제어 논리의 이상 여부를 해석할 수 없다. 따라서 MDS, ICE (in circuit emulator), logic analyzer 등의 전용장비가 필요하다.

IV. 마이크로프로세서를 응용한 예

전력전자에 응용되는 마이크로프로세서의 기능적 구분은 다음과 같이 몇가지 형태로 구분할 수 있다.

- Gate firing control
- PWM 또는 stepped wave generator
- Feedback control
- Processing of feedback signal
- Sequence control
- Monitoring and warning
- Diagnostics
- 기타

여기서는 이러한 기능들이 복합되어 있는 몇가지 시스템에 대하여 기술하고자 한다.

1. 직류전동기 구동에의 응용

제어가 용이한 직류전동기는 NC machine이나 robot 등 정밀제어가 필요한 분야에 널리 사용되고 있으며, 그 구동장치로는 位相制御 정류기와 DC/DC chopper가 쓰이고 있다.

位相制御 정류기를 사용하는 경우 부하조건에 따라 전동기전류의 불연속 영역이 존재하고, DC/DC chopper로 4 상한 운전하는 경우에는 전압과 전류의 맥동이 크게 되는 문제가 발생한다. 이러한 제어상의 난점은 마이크로프로세서의 채용으로 원활히 해결되고 있으며 그 예를 여기에 설명한다.

○ 位相制御 정류기

한 예로서 Hitachi에서 개발한 시스템에 대하여 살펴본다.¹⁾ 位相制御 정류기로 직류전동기를 제어하는 경우 경부하시 전동기의 전류가 불연속되면서 단자전압이 상승하게 된다. 만일 전류제어루프의 이득을 전류연속시의 값으로 정하면 전류불연속시 이득부족으로 응답이 나빠지며, 반대로 전류불연속시로 정하면 전류연속시 과대한 이득으로 안정성이 나빠진다. 그러므로 이런 非線形 특성을 보상하기 위하여, 부하전류에 따른 位相制御角의 보상치를 구해서 연속시의 제어각에 더해 주어 실제의 특성을 線形化시키는데, 그 제어루프의 블록. 다이어그램은 그림 3과 같다.

마이크로프로세서를 사용하여 이 제어알고리즘을 실현시킨 전체적인 시스템 다이어그램은 그림 4와 같다.

이 시스템에서는 advanced micro devices의 bit slice type인 AM2901을 사용하였다.

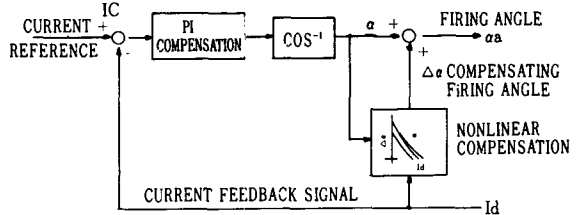


그림 3. 非線形 특성을 보정한 전류제어 loop

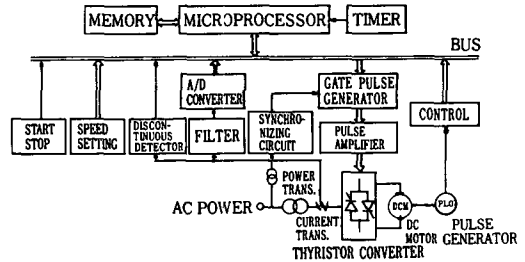


그림 4. 시스템 블록 다이어그램

Control processing은 소프트웨어로 처리되고 있으며, 속도제어 program의 execution time은 10ms이고, 전류제어 program의 execution time은 1ms로 되어 있다.

○ 4 상한 운전이 가능한 DC-DC chopper¹⁰⁾

4 상한 chopper는 보통 bipolar 방식으로 구동하는데 이를 unipolar 구동방식으로 구동하면 여러가지 잇점을 얻을 수 있으나 gate pulse logic이 복잡하게 된다. Power transistor 및 GTO 등의 自己消弧素子로 구성된 chopper에서는 그 복잡도가 감소하지만 thyristor 등 보조 轉流회로가 필요한 회로의 gate logic에서는 hardwired logic으로 구현하기가 힘들 정도로 복잡하여 진다. 이를 그림 6과 같은 마이크로프로세서를 이용하면 용이하게 구현할 수 있다. 여기서는 마이크로프로세서로서 M6800을 사용하였으며, 주변 IC는 programmable timer와 PIA를 사용하였고 전동기 전기자 전류를 A/D converter로 검출하고 있다. 이 회로를 unipolar로 구동하여 얻는 잇점은 아래와 같이 3가지로 요약된다.

- (1) 입력전류와 출력전압 ripple이 50% 작아진다.
- (2) Chopper cycle당 轉流 횟수가 줄어든다.
- (3) Thyristor의 이용율이 좋아진다.

이 회로에 쓰인 chopper 소자의 특성때문에 최대 주파수는 2 KHz로 제한된다.

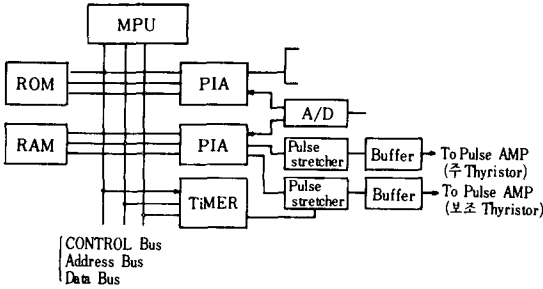


그림 5. Chopper 구동을 위한 마이크로프로세서 시스템의 구성

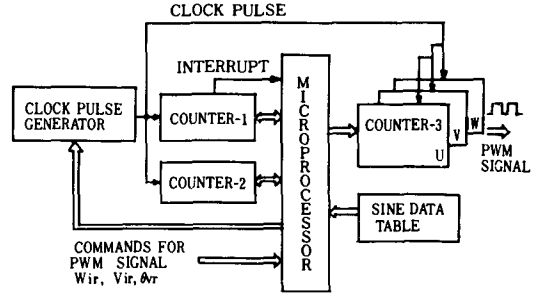


그림 6. PWM 파형을 만드는 hardware 회로 구성도

2. 교류 전동기 구동에의 응용

교류전동기의 속도제어 기술과 관련하여 여러 방법이 연구되어 왔으며 현재, 정밀제어를 위해서는 주로 1차 주파수를 제어하는 방법을 많이 사용하고 있다. 중, 소형 교류전동기 제어는 전압형 PWM inverter로 제어되는 형태가 많으며 이들 기기에 주로 마이크로프로세서가 채용되고 있다.

현재 이들 inverter에 마이크로프로세서가 채용되는 범위는 PWM 파형 발생부와 교류전동기의 정밀제어부로 구분할 수 있다.

○ PWM 파형 발생부

PWM 파형의 발생은 다음과 같이 2 가지 방법이 주류를 이루고 있다.

- 가) 삼각 반송파(triangular carrier wave)와 기준 sine wave와 비교하여 switching angle을 결정하는 방법.
- 나) 특정한 고조파를 제거하는 switching angle을 계산에 의하여 구하는 방법.

첫째 방법은 기준 파형이 sine wave인 natural sampling 방법과 stepped sine wave인 uniform sampling 방법이 있다. 이 두가지 방법중 마이크로프로세서에 의하여 구현하기가 쉽고 harmonics(subharmonics) 성분이 없는 uniform sampling이 마이크로프로세서로 많이 구현되고 있다. 이 마이크로프로세서를 이용하여 PWM 파형을 만드는 회로는 그림 6 과 같이 programmable counter의 값을 미리 수록된 sine wave table의 값과 비교하여 pulse 출력을 얻고 있다. 이때 carrier frequency와 fundamental frequency의 선별에 주의를 기울이면 harmonics 성분을 줄일 수 있다.

그림 7 은 uniform sampling method에 의한 PWM 파형을 얻을 때 기본파 주파수에 대한 carrier frequency를 선별하는 예를 보여주고 있다.

둘째 방법은 구형파에 notch를 추가하여 원하는

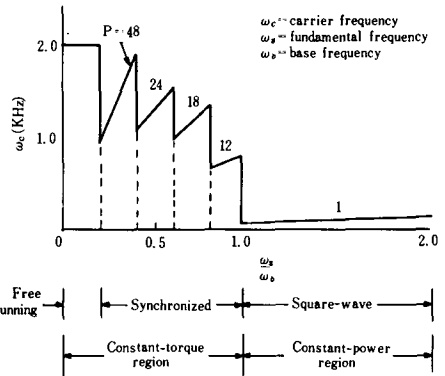


그림 7. 기본 주파수에 대한 반송파 주파수의 선택

harmonics 성분을 제거하는 방법으로, notch의 갯수를 증가하여 원하는 고조파를 제거할 수 있다.

그림 8의 PWM pulse는 harmonics를 제거하는 원리를 설명하는 원리도로 5차, 7차를 제거하는 notch angle을 결정하기 위하여 notch 4 개를 구형파에 부가한 모양을 보여주고 있다.

이를 실현하는 회로는 그림 9와 같으며, 전압과 주파수의 변경이 필요없는 기기에서는 ROM에 table로 펄스 파형을 기억시키고, counter를 사용하여 차례로

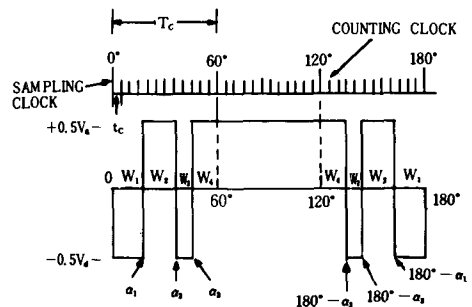


그림 8. 특정 고조파를 제거하는 PWM 파형 발생 (Notch 4개)

읽어내어 우수한 PWM 파형을 얻을 수 있다.

PWM 파형발생은 harmonics 관점에서의 전동기의 손실이나 시스템의 손실 등의 관점에서도 연구되고 있으며, 마이크로컨트롤러의 출력으로부터 얻은 노력도 시도되고 있다. 이러한 연구는 교류전동기를 정밀제어하는데 많은 도움을 주고 있다.

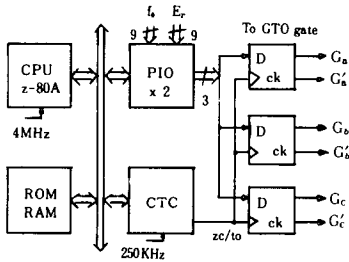


그림 9. 그림 8의 알고리즘 하드웨어 구성

○ 교류전동기의 벡터제어

산업기계가 고정밀 고성능화됨에 따라 교류전동기 구동장치들에 고속응답과 고정밀의 제어특성이 요구되고 있어, 이제는 전반적으로 마이크로프로세서가 이용되고 있다.

한 예로서 Hitachi에서 발표한 유도전동기의 벡터 제어 시스템에 대하여 살펴본다.^[12] 그림10에서 보듯이 2개의 마이크로프로세서가 control processing을 맡고 있고 gate pulse generation과 detection processing에 각각 1개씩 모두 4개의 마이크로프로세서를 갖추고 있는 multiprocessor 시스템이다.

단일 마이크로프로세서 시스템의 구성은 그림11과 같이 CPU로는 5MHz clock의 Intel 16bit 마이크로프로세서 MCS-86이고, memory, digital I/O, programmable counter, interrupt controller, multicontroller-등을 standardized microprocessor circuit (SMC)의 기본 구성으로 하고 있다.

그림10에서 control processing 부분은 속도제어 알고리즘을 전담하는 SMC 1과 dq 변환된 전류성분을 제어하는 SMC 2로 크게 구분된다. SMC 1은 digital PI 속도제어 알고리즘을 수행하는 동시에, 속도에 따른 전동기 자속의 크기를 결정하고 슬립 주파수를 계산하는 과정을 750μs의 execution time으로 실행하고 있다. SMC 2는 dq 변환된 각 전류성분의 digital PI 전류제어 알고리즘을 수행하고 좌표변환도 맡고 있으며 execution time은 700μs이다.

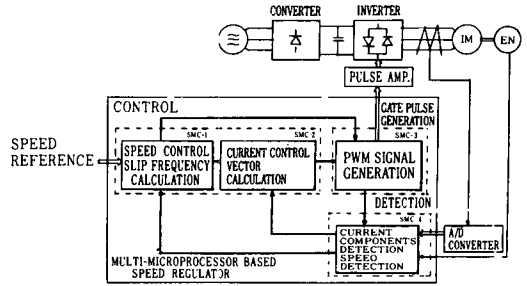


그림10. Multiprocessor를 이용한 유도전동기의 벡터 제어 시스템

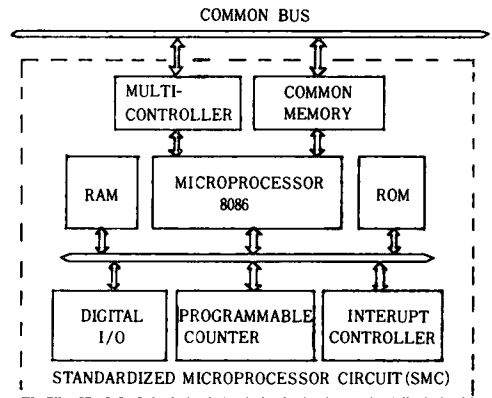


그림11. SMC (standardized microprocessor circuit)의 기본구성도

다음으로 SMC 3가 맡고 있는 gate pulse generation 부분에서 PWM 신호 발생 시간은 마이크로프로세서가 계산하고 firing timing의 fitting은 하드웨어 카운터가 맡아 정밀제어를 가능하게 하였다. 마지막으로 detection processing을 맡고 있는 SMC 4는 A/D converter를 거쳐서 얻어진 3상 전류를 좌표변환시켜 토오크 전류성분과 자속전류성분을 계산하며, pulse 엔코더의 pulse data로부터 소프트웨어 processing을 거쳐서 실제의 전동기 속도를 검출하기 때문에 high resolution 및 high precision 속도검출이 가능하게 되어 있다.

3. 전력계통 설비의 응용 예^[13]

전력전자 기술을 이용하는 전력계통 설비로는 발전 단계의 AVR, 송전단계의 HVDC 송전설비, 정지형 무효 전력제어 장치 및 초전도 에너지 저장장치, 배전이 용 단계의 UPS, AVR, 비상발전기 등이 있다. 이들은 모두 전기 에너지를 효율적으로 분배 공급하고, 점점 고성능화 되어 가는 산업기기들에 양질의 전원을 공급

하기 위하여, 마이크로프로세서에 의해 각 시스템의 운전, 제어 및 감시기능을 실현하고 있다.

한 예로써, 상용전원의 전압변동, 순간 정전 및 flicker 등이 컴퓨터 및 컴퓨터를 이용한 OA, FA기기 등에 공급되는 문제를 해결하기 위하여 많이 도입되고 있는 UPS에 관해 살펴본다.

그 전체적인 시스템 블록 다이어그램은 그림12와 같다. 이 UPS는 컴퓨터 및 OA기기 전용의 소형 1 ϕ UPS로 Bell Telephone Lab.에서 1980년대 초에 개발한 triport UPS이다.

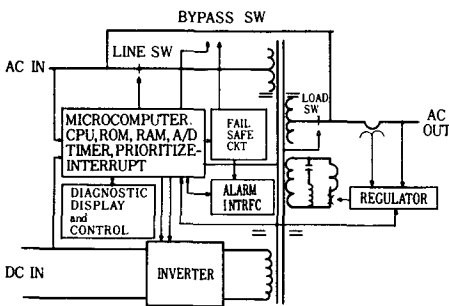


그림12. 마이크로프로세서로 제어되는 UPS

마이크로프로세서 부분은 CPU로 6MHz clock의 Intel MCS-85, 6Kbyte의 EPROM, 256byte의 RAM, 6개의 8bit I/O port 등의 하드웨어와 power control 알고리즘 및 시스템 고장진단 알고리즘 등의 소프트웨어로 구성되어 있으며, 부하에의 power processing을 실시간 제어하고 있다. 마이크로프로세서는 전압 레귤레이터에 의한 출력전압의 정전압화, 인버터 제어에 의한 출력 주파수의 정주파수화, by pass 스위치의 무순단 동기절체, 시스템 고장진단과 alarm 및 message의 display 등을 효율적으로 관장하여, UPS가 고도의 성능 및 신뢰도를 가지도록 한다.

V. 결 론

마이크로프로세서의 고성능화와 그 응용 기술의 발달로 電力電子 시스템의 디지털화가 급속히 진행되고 있고, 마이크로프로세서를 채용한 시스템은 현대 제어 이론의 실현에 따른 제어 정밀도 및 응답성의 향상과 자기진단 기능에 의한 보수성 및 신뢰성의 향상 등 우수한 성능을 가지고 있다.

앞으로 電力電子 시스템은 통신기능이 추가된 마이크로 프로세서 시스템에 의해 더욱 더 시스템화 될 것

이며, 하드웨어의 많은 부분이 점점 소프트웨어로 대체되어 갈 것이다.

參 考 文 獻

- [1] B.K. Bose, *Power Electronics and AC Drives*, Prentice-Hall, pp. 362-366, 1986.
- [2] MC68020 32-Bit Microprocessor User's Manual, Prentice-Hall, 1985.
- [3] *Series 32000 Databook*. National Semiconductor Corporation, 1987.
- [4] Intel, *Embedded Controller Handbook*, 1987.
- [5] 한국과학기술원, 자동화 기술 응용에 관한 조사 연구, 과학기술처, 1986.
- [6] Data Translation, *1987 Catalog*
- [7] 박병관, 윤용호, 오길록, "다중 프로세서 시스템용 캐시메모리 설계에 관한 연구", '86 특정연구 결과 발표회 논문집, 1987
- [8] Intel. The Complete VLSI LAN Solution
- [9] Tsutomu Ohmae, Toshihiko Matsuda, Toshitaka Suzuki, Noboru Azusawa, Kenzo Kamiyama and Tsutomu Konishi, "A microprocessor-controlled fast-response speed regulator with dual mode current loop for DCM drives", *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. IA-16, no. 3, pp. 388-394, May/June 1980.
- [10] Shashi B. Dewan and ALi Mirbod, "Microprocessor-based optimum control for Four-quadrant chopper", *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. IA-17 no. 1, Jan./Feb. 1981.
- [11] Bimal K. Bose and Hunt A. Sutherland, "A high-performance pulse width modulator for an inverter-fed drive system using a microcomputer" *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. IA-19, no. 2, March/April 1983.
- [12] Kenji Kubo, Masahiko Watanabe, Tsutomu Ohmae and Kenzo Kamiyama, "A fully digitalized speed regulator using multimicroprocessor system for induction motor drives" *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. IA-21, no. 4, July/Aug. 1985.
- [13] H.E. Menkes, "A Stored-Program Controlled Triport UPS", *Intelec 81*, pp. 210-215. *