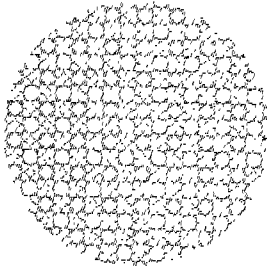


電氣機器의 制御部分 에 있어서의 컴퓨터 의 役割

The Role of Computer in
Electrical Machine Control



梁 興 錫

서울대학교 工大教授, (工博)

1. 序 論

近來에 있어서 컴퓨터의 놀라운 발달은 공학과 산업 분야에 큰 영향을 미쳤으며, 사회 전반에 걸쳐 컴퓨터의 사용이 점점 일반적인 추세로 되고 있다.

· 電氣系統에 있어서도 전기기기뿐 아니라, 전기기기를 포함하는 전체시스템의 제어 및 에너지 절약을 위한 중앙통제 컴퓨터의 사용은 이미 오래된 일이며, 특히 전기기기의 제어분야에서는 컴퓨터가 도입되면서부터 복잡한 작업, 정교한 작업, 또는 반복작업을 수행할 수 있는 機器의 개발 및 그 제어에 관한 연구가 활발해졌다.

이러한 연구들이 수행해야 할 기본적인 과제들로서 회전기기의 正逆轉 可變速制御, 위치 및 토오크 제어 등의 高正確度 유지 문제 등을 들 수 있는데 그 기초 위에서 모우터계로 이루어지는 로봇의 제어, N.C. 머신 등이 연구되었고 또한 특수 전동기인 스텝모우터의 컴퓨터를 사용한 제어 등도 활발히 연구되었다.

따라서 本稿에서는 주로 전기기기와 복합된 전기기기의 형태를 대상으로 컴퓨터의 이용도를 고찰하기로 한다.

또한 전기에너지 소비량의 약 64%가 산업구동력으로 사용된다는 사실을 볼 때 전기기기 분야에서의 에너지 절약의 문제는 매우 중요한 과제라 할수 있으므로 회전기기의 대중을 이루고 있는 직류기 및 유도기의 고효율 운전을 위한 최근의 동향 및 연구 결과에 대해서도 살펴보기로 하겠다.

本稿의 전체적인 구성은 2章에서 전동기의 기본적인 제어방식과 디지털방식을 사용할 때의 장점에 대하여 간단히 언급하고 3章에서 컴퓨터를 이용한 직류기의 正·逆運轉 및 속도제어, 스텝모우터 제어, 로봇 및 NC머신 제어 등에 관해 언급하겠다. 4章에서는 대형전동기의 고효율 운전을 위한 마이크로컴퓨터의 이용에 대해 살펴보고 5章에서 전체시스템의 효율 또는 상황의 변화시에 사용 가능한 적응제어에 대해 간단히 알아보기로 하겠다. 그리고 마지막 章에서 結論을 맺기로 하겠다.

2. 電動機의 制御原理

2.1 基本的인 속도제어

직류기에서 속도제어 방식은 계자전류를 변화시키는 방법, 전기자에 직·並列 저항을 연결하는 방법, 콘버터의 전압을 변화시키는 방법 등이 있다. 이 중 많이 쓰이는 두가지 방식의 운전특성은 그림 1과 같이 나타난다.

유도전동기는 크게 권선형과 농형의 두가지로 구분되며 속도-토크 특성을 변화시키는 방법으로는 인가전압을 변화시키는 방법, 인가전압의 주파수를 변화시키는 방법, 그리고 전압의 크기 및 주파수를 동시에 변화시키는 방법 등이 있다.

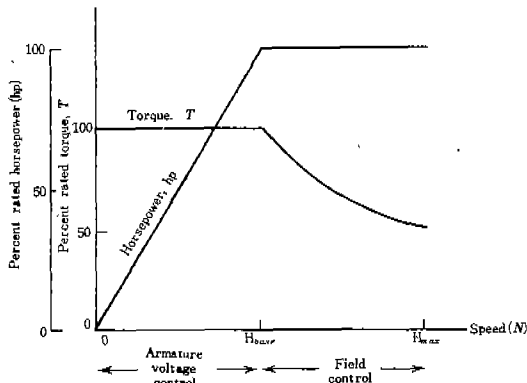


그림 1. Constant torque and constant horsepower operation of the Ward-Leonard system

2.2 디지털 방식의 우수성

애널로그 방식에 의한 제어는 속도변환장치의 비선형성, 애널로그 신호의 정확한 전송이 어려운 온도 및 제반요소들의 간섭, 애널로그 신호의 오프셋(off-set)의 존재, 외란에의 취약 등으로 고정밀도의 제어특성을 나타내기 어렵다.

이에 반하여 디지털 제어방식을 사용하면 고정밀도의 제어특성을 나타낼 수 있을 뿐 아니라 마이크로프로세서를 이용한 다양한 작업지시 및 효율 개선 등이 가능하다.

직류전동기의 속도제어에서 애널로그방식은 적어도 0.2% 이상의 속도오차가 발생하지만 디지털 형태의 PLL (Phase-Locked-Loop) 방식을 사용하면 0.002% 이내의 오차로 속도제어를 할 수 있고 기준속도의 변화에도 더 신속하게 대처할 수 있다. 물론 루프·필터(Loop-Filter) 및 대상 전동기의 시정수에 따라 안정도 및 속응성은 달라질 수 있지만

애널로그방식에 비하여 현저히 개선되는 효과를 볼 수 있다.

3. 컴퓨터 應用 制御分野

3.1 직류기의 正·逆運轉 및 속도제어

마이크로프로세서를 부착한 직류기의 正·逆轉운전 및 속도제어 회로는 그림 2와 같이 구성할 수 있다.

여기서 반도체 정류회로에 대해서는 자세히 언급하지 않겠으나 正·逆轉 및 속도제어를 위해서는 마이크로프로세서의 사용이 절대적으로 필요함을 알 수 있다.

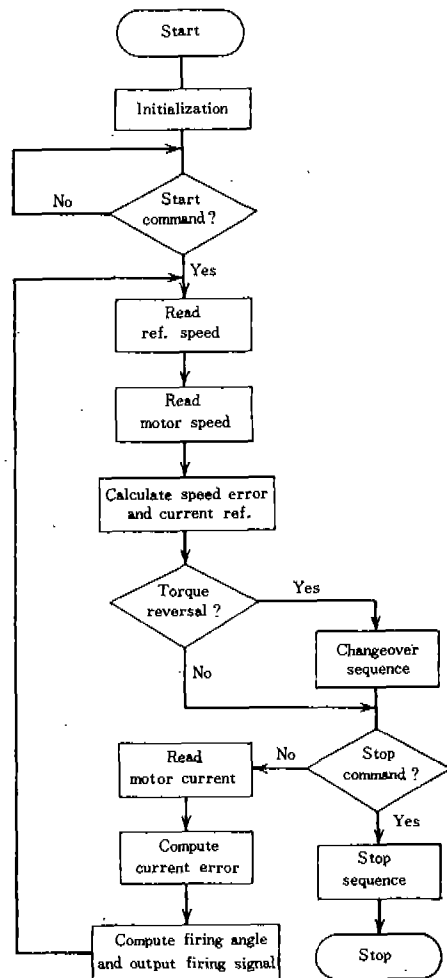


그림 3 Program flowchart for a reversing drive using microcomputer control system

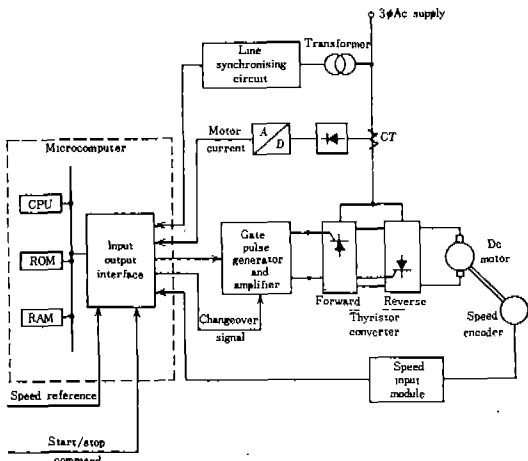


그림 2 Block diagram of a reversing dc drive using microcomputer control system

마이크로프로세서에 들어갈 프로그램의 흐름도는 그림 3 과 같다.

3. 2 스텝모우터의 제어

스텝모우터는 최근 위치 및 속도제어용으로 이용 범위가 확대되고 있는데 모우터 자체의 한 스텝 당 회전각이 0.9°, 1.8°, 3.6°, 7.5°, 15°, 18°, 30°

등과 같이 미리 정해지므로 서어보모우터와는 달리 연속제어가 이루어지지 않는다.

스텝모우터의 회전속도 및 위치제어는 인가되는 펄스의 주파수와 갯수로서 이루어진다. 이때, 신호 발생장치와 이 신호를 모터구동에 맞는 형태로 변환하는 장치가 필요한데 마이크로컴퓨터를 사용하면 손쉽게 제어할 수 있다.

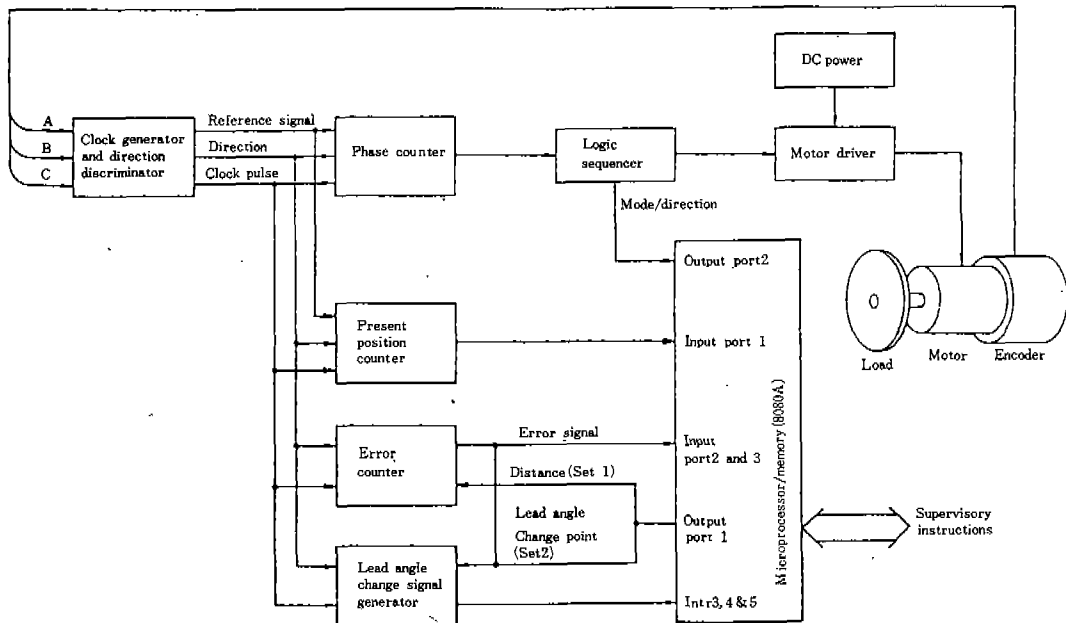
스텝모우터의 제어는 開루프방식을 많이 사용하고 있으나 빠른 속도의 운전이나 큰 토크를 필요로 할 경우에는 閉루프제어를 하여 훨씬 좋은 효과를 얻을 수 있다.

마이크로컴퓨터를 이용한 閉루프제어의 하드웨어 구성도는 그림 4와 같고 소프트웨어의 흐름도는 그림 5와 같다.

3. 3 NC머신과 로봇트

로봇트나 NC머신은 전동기 집합체에 반복작업을 위한 프로그램 또는 인공지능 등의 능력을 첨가하여 다양한 작업능력을 갖는 기기로 개발한 것이라 할 수 있으며 따라서 그의 제어는 기본적으로 직류 서어보모우터 제어의 개념과 동일하다.

NC머신에서는 직교좌표계만 쓰이는데 비해 로봇트에서는 그외에도 매니플레이터기준 직교좌표계,



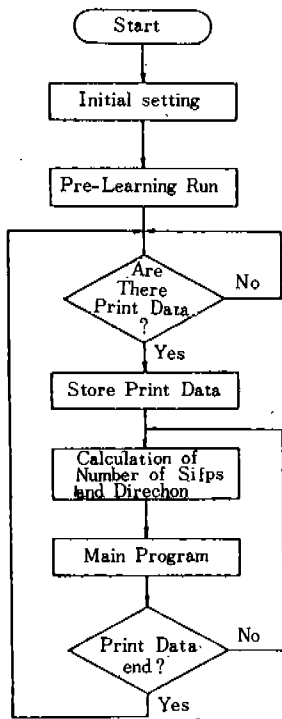


그림 5 Flow-chart of program

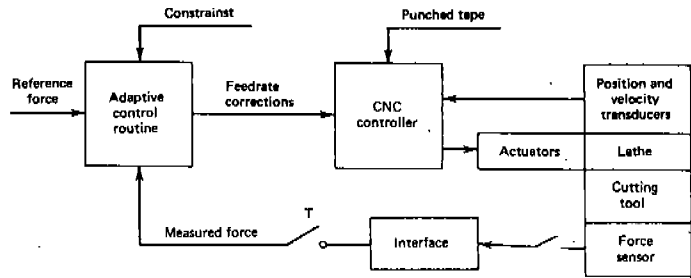


그림 6 Block diagram of continuous-path robot system

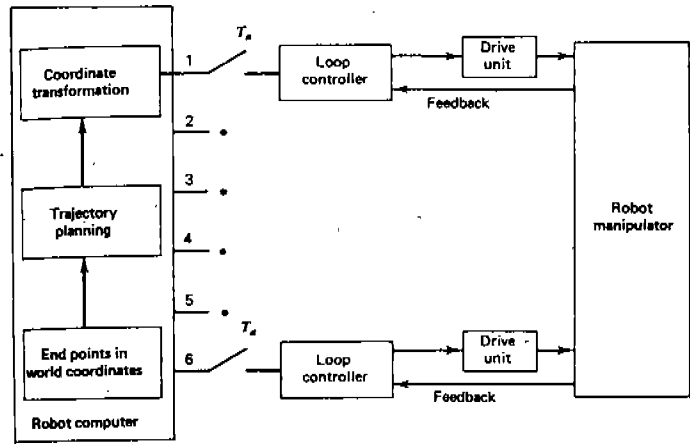


그림 7 Adaptive control system of a CNC lathe

관절기준 좌표계, 센서 기준의 좌표계 등이 쓰이고 있으며 작업지시는 직교좌표계에서 하고 작업수행은 관절기준 좌표계에서 시행되도록 제어 프로그램을 구성하는 것이 편리하다. 따라서 좌표변환을 위한 알고리즘이 필요한데 이것이 NC머신과 로봇시스템의 차이점의 하나라 하겠다.

자유도 6인 로봇 시스템에서 연속경로이동을 위한 블록선도는 그림 6과 같다.

NC선반의 경우 절삭대상의 크기가 다를 때 같은 크기로 자르고자하면 센서의 측정결과로부터 프로그램이 자동수정되어야 하며, 로봇에서도 지정된 위치에서 벗어나 물체가 존재할 때 집어들리지 못하는 현상 등을 해결하려면 적응제어기법과 인공지능 등이 이용되어야 한다.

NC선반에 적응기법을 사용한 CNC(Computerized Numerical Control) 및 인공지능을 도입한 로봇의 블록선도는 그림 7 및 그림 8과 같다.

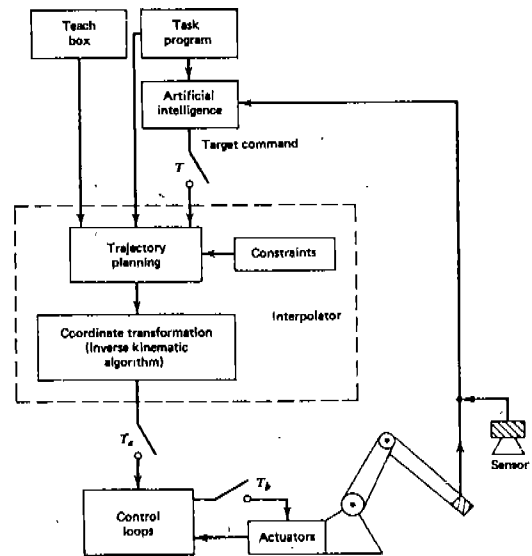


그림 8 Block diagram of an intelligent robot

4. 大型電動機의 高効率 運轉

3. 1 직류기의 고효율 운전

부하조건을 만족시키는 전기자전류와 계자전류의 조합은 무수히 많은데 철심의 비선형성이 무시되는 영역에서는 전동기의 손실이 최소가 되려면 회전속도에 따라 계자전류에 대한 전기자전류의 비(이하 최적비라 칭함)가 부하에 무관하게 일정하여야 한다.

분권전동기의 고효율 운전을 위한 계통도는 그림 9와 같다.

전동기의 속도를 감지하면 이때의 최적비는 순람표(Look up table)를 이용하여 계자전류와 전기자전류를 조정하게 되는데 일반적으로 전기자회로의 시정수가 계자회로의 시정수보다 작으므로 빠른 시

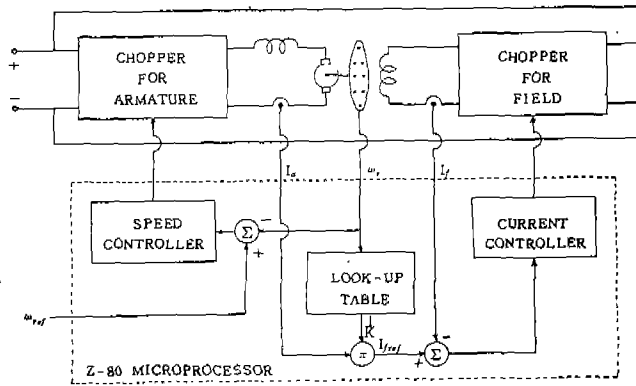
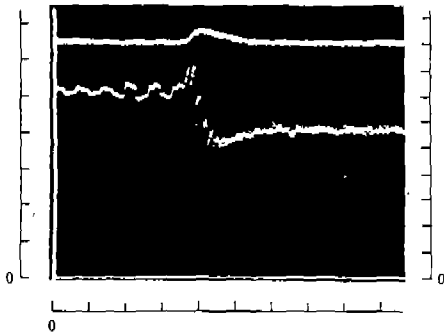


그림 9 System block diagram of shunt motor



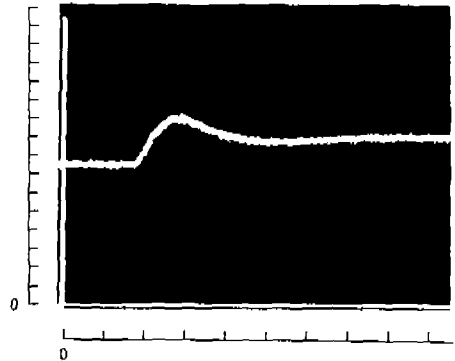
Top : Speed (right scale)
 Bottom : Input power (left scale)
 Vertical : 100 W/div. (left)
 100 rpm/div. (right)
 Horizontal : 0.5 sec/div.

그림 10. Input power and speed of shunt motor

간내의 제어를 위해서는 전기자전류를 제어하는 것이 효과적이다.

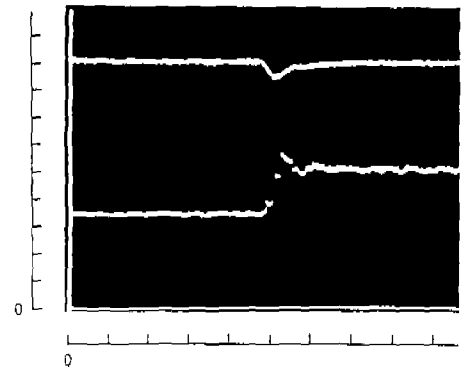
직권전동기의 경우는 Löcker, M.H.Rashid 등이 제안한 방법을 사용할 수 있다.

PI제어기를 이용한 실험결과를 살펴보면, 표1과 같은 정격의 분권전동기에서 계자전류를 정격치로 유지하다가 고효율 운전으로 바뀔 때 입력과 속도 변화가 그림10에 나타나 있는데 출력에 대하여 입



Vertical : 100 rpm/div.
 Horizontal : 0.1 sec/div.
 $\Delta \omega_{ref}$: 150 rpm

그림 11. Speed response of shunt motor to the reference speed change



Top : Speed
 Bottom : Input power
 Vertical : 100 rpm div.
 Horizontal : 0.5 sec div.

그림 12. Speed response of shunt motor to the load torque change

〈표-1〉 전동기의 정격 및 각종 상수

	분 권 전 동 기
정 격 출 력	1.5 kW
회 전 속 도	1750 rpm
정 격 전 압	115 V
정 격 전 기 자 전 류	13 A
정 격 계 자 전 류	2.1 A
전 기 자 저 항	2.5 Ω
계 자 저 항	48.4 Ω
전 기 자 인 덕 턴 스	0.017 H
계 자 인 덕 턴 스	4.84 H
관 성 계 수	0.087 N·m·sec ² /rad
마찰 계 수	0.01192 N·m·sec/rad

력이 매우 감소됨을 볼 수 있다. 그림11은 속도를 변화시켰을 경우이고 그림12는 부하토크를 변화시켰을 때이다.

직권전동기에서도 이와 같은 효과를 얻을 수 있으나 분권 전동기의 경우가 에너지 절약 효과가 더욱 크다.

4.2 유도기의 고효율 운전

가변속 유도전동기의 구동은 인버터의 출력전압과 주파수의 비를 조정함으로써 유도전동기의 자속을 부하에 알맞게 조절하여 효율을 개선시킨다. D. W. Novotny는 전동기 철심의 비선형성과 고조파성 손실을 무시할 때 최고 효율은 토크와는 무관하며 회전속도에만 연관성을 지님을 보였다.

그러나 유도전동기의 광범위한 가변속 특성을 얻기 위해 사용되는 인버터의 출력에는 필연적으로 고조파전류가 포함되며 이러한 고조파는 많은 문제를 야기시키므로 고조파 저감대책이 필요한데 마이크로컴퓨터를 이용한 능동필터는 효과적인 대책이 되고 있다.

전동기 철심의 비선형성 문제를 무시하면 효율이 최대가 되는 슬립은 전동기 속도에만 관계하므로 이 경우 전동기의 속도제어회로와 슬립제어회로를 각

각 설치하여 전동기 속도와 인버터 주파수로부터 전동기의 슬립을 계산하고 미리 기억된 최적슬립과 비교하여 전동기의 입력 전류, 전압을 가감시킴으로써 최적슬립을 유지할 수 있다.

이 경우 전동기 속도 및 토크를 측정장치에 의해 직접 측정하는 것은 산업현장에서 그 응용을 매우 어렵게 하므로, 인버터의 출력전압과 전류를 근거로 하여 계산에 의해서 구하도록 할 수 있는데, 최근의 마이크로프로세서의 발달로 d-g축에 관한 수식의 실시간 계산이 가능해졌으므로 이를 이용하여 속도, 토크, 입력전력 등을 계산하여 최고효율을 운전할 수 있다.

5. 適應制御 方式과 컴퓨터

기존 제어방식은 제어대상의 파라미터가 既知이고 시불변임을 가정하여 제어시스템을 구성하였으나 실제로는 파라미터가 未知이거나 시변특성을 갖는 경우가 많다. 전기기기의 경우 그러한 예로 광산의 호이스트(hoist), NC전반, 로봇 등을 들 수 있는데 이 때는 실시간 파라미터 추정(on-line parameter identification)이 선행되어야만 적절한 제어기의 구성이 가능하다.

파라미터 추정은 순환최소자승법을 사용하여16비트 마이크로프로세서 1개 또는 다수개로서 구성이 가능하다.

적응제어의 기본적인 개념은 그림13과 같이 나타

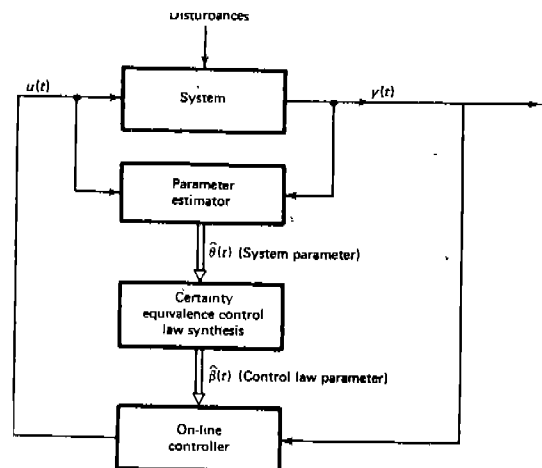


그림 13. Certainty equivalence control law

(44페이지로 계속)

할 수 있다. 고정자 철심은 얇은 1개의 철판에서 추극과 보극을 일체로 한 것을 積層한 구조이다. 고정자 철심에 접합부가 없으므로 고정자는 견고하여 진동 및 소음은 낮다. 磁路는 완전히 적층되어 있으므로 자속의 응답은 고속이고 사이리스터 전원 및 고성능의 제어장치에 적합하다.

電子 철심은 절연성이 좋은 고급의 전기철판으로 적층되어 있으므로 손실이 적고 또한 축방향에는 냉각용의 통풍열이 있다. 저손실 및 유효한 냉각방법의 양면의 효과가 있어 특별히 재료를 증가시키지 않고도 전력/중량비가 큰 고효율 전동기의 제작이 가능해졌다.

정류자는 화학적 및 열적으로 안정된 몰드 설계로 했다. 전기자 권선은 자동권선기로 제조되며 글라스 섬유제의 사슬로 슬롯에 확실하게 수납되어 있다. 주물제의 브라켓은 고정자에 볼트로 고정되어 있으며 안정성과 저소음화에 큰 역할을 하고 있다. 양쪽의 브라켓에 있는 3개의 큰 점접촉은 내부의 부품의 점접을 용이하게 한다. 브러시홀더는 안정성을 얻기 위하여 특별히 주의를 기울였고 장력용수철은 定壓力, 회전방향에 관계가 없는 기계

적 안정성 및 엄격한 환경하에서의 고신뢰성을 얻을 수 있는 설계로 되어 있다. 이들은 모두 정류성능의 개선에 기여하고 있다. 축반이의 수명은 徑方向의 하중에 따라 20000~40000시간이다. 용도에 따라 볼베어링 또는 스러스트베어링이 적용된다. 전기자 및 고정자 권선은 H종(180°C)의 에스텔 이미드 와니스로 절연되어 있다. 다만 전동기는 F종(155°C) 온도 이하에서 사용된다. 이 와니스는 전동기의 기계적 강도를 증가시키고 또한 내습성을 높게 해준다.

LAP형 전동기는 7종의 다른 보호형식에 대응할 수 있다. 또한 많은 표준적 부속품이 붙는 설계로 되어 있다. 따라서 대부분의 용도에 대하여 표준품으로 대응할 수 있다.

ASEA사는 최근의 3년 간에 펄프 및 제지산업, 철강산업, 伸線機, 플라스틱 押出機 및 인쇄기 등의 산업이나 용도에 합계 6000종의 LAP형 전동기를 공급했다.

Modern d. c. motors for Tryak drive system
Asea Journal '85年 5/6月號 參考

*

(29페이지에서 계속)

낼 수 있으며 추정된 파라미터가 실제의 파라미터라고 간주하여 제어기를 구성하는 것이다.

직류전동기의 전류형 제어기에서는 적응제어이론을 사용하면 전류가 연속 및 불연속인 영역 모두에서 매우 양호한 동작특성을 나타낸다. 또한 적분제어형태를 사용할 때 초기조건들이 잘 선정될 수 있어 초기 오버슈트(overshoot)를 작게할 수 있는 이점이 있다.

마이크로프로세서의 발달은 적응제어이론의 실용화를 더욱 용이하게 하고 있으며 따라서 앞으로 폭넓게 이용되리라 보여진다.

6. 結 論

전술한 바와 같이 제어문제에서 디지털 방식은 애널리로그 방식에 비하여 월등히 우수한 결과를 나타내고 있으며 이는 마이크로컴퓨터를 사용할 수 있는 이점이 있기 때문이다.

전기기기 제어에서 마이크로컴퓨터를 사용함으로써 그 자체의 효율을 개선할 수 있을 뿐 아니라 다양한 작업과 정밀한 제어를 할 수 있다. 또한 전동기와 그 전원장치를 포함한 전체 시스템의 효율 개선 문제, 에너지 절약 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 적응제어와 마이크로프로세서의 이용이 필수적이라 하겠다.

따라서 산업분야에서 현대제어이론을 수용하는 데에 컴퓨터의 역할이 실로 중대함을 알 수 있다.

*