● 教材(1) ●

자동제어 기술의 최근의 동향 (1)

고 명 삼

서울대 공대 교수

○서 론

자동제어 내지 자동화기술은 소위 두뇌집약적인 기술로서 매우 어려운 것으로 인식되고 있으나, 요컨데 물건을 움직이기 위한 기계적인 power을 제어하거나, 눈으로 직접 볼 수 없는 전기적 신호의 제어기술로 집약된다. 요컨데 전자석, 전동기 유압, 공기압 기타 각종 기기들의 제어방법을 이해하고, 전자회로의 집대성이라고 할 수 있고 마이크로프로세서 및 각종 반도체, IC, MSI, LSI소자들의 사용법 및 효과적인 응용기술의 이해는 곧 자동제어기술을 이해하는데 필요한 기본 요건이 된다.

특히 자동화장치를 이해하기 위해서는 기계적인 여러 문제도 이해할 수 있는 능력을 길러야 한다.

앞으로 기술할 자동제어기술의 내용은 우선 그간 어떻게 변천되었는가를 간단히 기술한 후 최근 모든 산업부문에서 응용되고 있는 microprocessor의 원리를 간단히 설명한 후 응용예로서 양수pump시스템을 들었다.

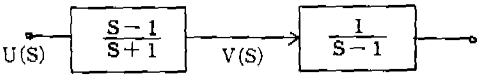
James Watt의 Steam engine에서의 원심력을 이용한 회전속도의 제어방식은 소위 자동제어기술의 기원이라 할 수 있다. 그후 크게 비약적으로 발전한 것은 세계 2차대전을 전후로 한 전쟁무기개발에 수반되는 각종 자동화기의 개발은 소위 써어보시스템이란 용어를 탄생시켰으며 당시 새로운 자동제어 기술로서 크게 세인의 이목을 끌게 되었다. 년대적으로 보면 대체로 1935년부터 1950년대末까지라 할 수 있으며, 소위 Negbtive feedback이론에 입각한 각종 Amp의 설계, 근궤적법 제어시스템의 안전도 결정을 위한 Nyquist안정도 판별법, Bode선도 및 Nichole기법 등 여러가지 방법들이 계속 연구되어 자동제어장치의 해석 및 설계기법을 확립하여 학문적인 체계까지 수립할 수 있게 되었다.

우리들은 현재 이러한 이론적범주에 속하는 자동제어 이론을 소위 고전적 제어이론 혹은 재래식 제어이론이라 하며, 그 특징은 단일입력 일출력으로 대상시스템이 구성되며 과소특성예를 들면 Overshoot, Rising time의 개선등이 주요 연구대상이었다. 그러나 어떤 평가함수를 최대최소로 하게 하는 입력으로 어떤 형태의 입력을 인가시키는 것이 가장 바람직할 것인가에 대해서는 다루지 못하였다.

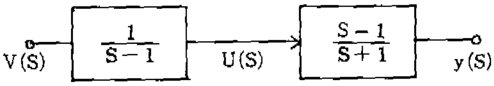
1950년대 후반에 발명된 digital cmputer의 출현은 인간사회의 경제적 사회적 환경까지 변형시켰다. 즉 초인간적인 고속계산처리 능력과 논리판단능력은 다중입력과 다중출력으로 구성되는 복잡한 시스템의 문제해결의 기본도구로 쓰이게 되었다.

현재 제어이론의 태아기는 1950년대로 볼 수 있다. 1958년에 발표된 Pontryagin의 최대치원리 및 Kalman의 System 및 Filtering 이론은 현대제어 이론의 핵을 이루고 있다고 볼 수 있다.

즉 현대제어 공학은 다중입출력 시스템에 관한 자동제어 문제를 다룰 수 있는 분야로서 어떤 평가함수를 최대 혹은 최소로 할 수 있는 제어정책을 수립할 수 있다는 점이다. 현재 제어이론의 주로 topics은 우선 주어진 시스템의 내적특성에 관련된 소위 microscopic한 특성(이를 상태변수란 용어로 표시되고 있다)을 다룰 수 있는 상태방정식을 비롯하여 Controllability, Observability, Stability, Estimata Observer등 여러가지 Topics들이 있다. 한편 제어라는 표현으로 현대제어 공학을 표현한다면 최적제어 적응제어 학습제어 Stochastic제어 Digital제어 등 대상시스템에 따라서 여러가지



(a) system A



(b) system B

〈그림－0.1〉 직열접속과 가제어성

표현을 쓸 수 있다.

예로서 그림0.1과 같은 시스템 A및 B를 관측한다면 아래와 같은 이론적 전개가 가능하다.

우선 System A인 경우

전체전달 함수는 $\frac{S-1}{S+1}\;\frac{1}{S-1}=\frac{1}{S+1}$가 되어 겉보기에는 안정된 시스템도 보이지만 내부적인 관점 즉 상태변수의 입장에서 본다면 불안정한 소위 발산요소가 발견된다. 왜냐하면 그림0.1(a)는 그림0.2와 같은 신호흐름선도가 된다.

상태방정식은

$$\begin{pmatrix}\dot{X}_1\\ \dot{X}_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-1 & 0\\ 1 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}X_1\\ X_2\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}-2\\ 1\end{pmatrix}V,\quad \begin{pmatrix}X_{1\,(0)}\\ X_{2\,(0)}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}X_{10}\\ X_{20}\end{pmatrix}\quad \text{및}\quad y=(0\;\;1)\begin{pmatrix}X_1\\ X_2\end{pmatrix}$$

가 되므로 제 1식은

$$\dot{X}_1=-X_1-2V,\quad X_{1\,(0)}=X_0$$

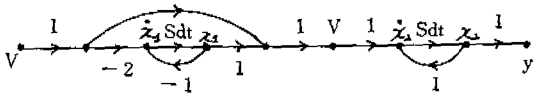
가 되므로 $X_1(t)=e^{-t}X_{10}-2e^{-t}*V(t)$

제 2식은 Laplace 변화하여

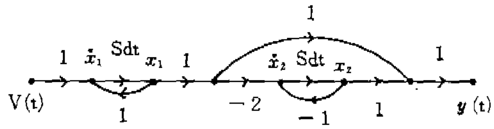
$$Y(s)=X_2(S)=\frac{X_{20}}{S-1}+\frac{X_{10}}{(S-1)\;(S+1)}+\frac{V(s)}{S+1}$$

고로 $y(t)=X_2(t)=e^{t}x_{20}+\frac{1}{2}(e^{t}-e^{-t})x_{10}+e^{-t}\;*v(t)$

즉 초기상태가 zero이면 $y(t)=e^{-t}*v(t)$가 되어 장치는 내외적 어느측면에서도 안정하게 되나 만일 초기치가 0이 아니면 장치의 내부에서 발상현상이 생겨



〈그림－0.2〉 System A의 신호흐름선도



〈그림－0.3〉 System의 신호흐름선도

소전기전자장치라면 소손하거나 절연파괴되는 일이 생기게 될 것이다.

한편 System B인 경우 신호흐름선도는 그림0.3과 같이 되므로 상태방정식은

$$\begin{pmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & 0\\ -2 & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x_1\\ x_2\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix}v(t)$$

$$y=(1\;\;1)\begin{pmatrix}x_1\\ x_2\end{pmatrix}$$

고로 $y(t)=(x_{10}+x_{20})e^{-t}+e^{-t}\;*v(t)$

가 되어 시스템을 초기치에 관계없이 항상 안전함을 알 수 있다.

이상의 예로서 상태방정식적인 표현은 시스템의 외적사항보다 내적사항을 해석할 수 있는 기회를 우리들에게 제시한다고 본다.

보다 자세한 현재제어 기술에 관한 내용은 다음기회에 미루기로 하고 다음절부터 최근 많이 애용되고 있는 microprocessor 응용기술에 대해서 설명하고저 한다.

1. Microcomputer

1.1 Microcomputer 란 무엇인가

Microcomputer는 대규모집회로를 중심으로 구성된 계산기이다. 대규모집적회로는 LSI (large scale integrated circuit)로 칭하며 5㎜× 5㎜×0.3㎜정도 크기의 실리콘 단결 등에 복잡한 트랜지스터 논리회로를 구성시킨 것으로 트랜지스터의 갯수 최소 5,000개 이상이 내장된 초소형 전자장치이다.

Microcomputer는 그 크기는 소형이지만 기능적으로는 완전 계산기 즉 프로그램기억방식 범용계산기의 기능을 갖고 있다. 즉 프로그램을 적당히 작성함으로써 임의의 정보처리를 실행시킬 수 있다.

한개의 LSI 안에 여러가지 계산기능을 수용할 수 있는 반도체 제작기술의 발달로 비교적 염가로 대량생산할 수 있어 여러가지 기능을 수행할 수 있는 제어장치의 실현이 가능하게 되었다. 종전에는 용도에 따라서 그에 적합한 전용회로를 설계제작한 대신에 software 적인 program을 작성하면 된다. 계산뿐만 아니라 논리판단능력까지 가지고 있으므로 전용회로 설계로서는

너무 복잡한 것도 다룰 수 있는 기능도 실현할 수 있다. 이렇게 하여 최근에는 일반 가정용 전기제품에도 사용할 수 있게 되었다.

한편 완전히 독립된 계산기로써 동작하는 시스템을 구성할 수도 있다. 이 경우에는 program 및 data를 입력으로 취하고 처리결과를 출력시킬 수 있는 입출력기기가 필요하다. 염가로 key board을 입력으로 사용하고 표시장치로서는 가정용 테레비수상기를 사용한다면 개인이 소유할 수 있는 가격의 계산기를 만들 수 있다.

이것이 곧 개인전용형 계산기(personnel computer)라 한다.

한편 종래의 Minicomputer능력을 훨씬 초과하는 것도 이미 나타나고 있다.

계산기의 중심은 중앙처리장치(CPU : Central Processing unit)이며 여기서 주어진 데이타에 대하여 사측연산 및 논리연산을 실시하는 연산논리장치와 계산기 전체의 동작을 제어하기 위한 제어장치로서 구성되어 있다. 이 CPU는 그림 1 - 1과 같이 프로그램 및 데이타를 저장하는 기어장치와 입출력기기의 접속부인 입출력장치를 결합시켜 한대의 계산기를 구성케 한다.

이들 unit중에서 가장 복잡한 것이 CPU이다.

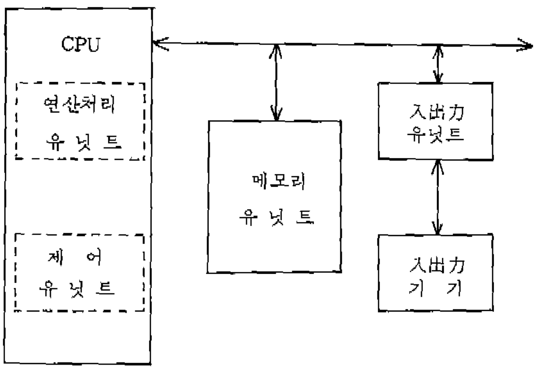
IC제조기술에 의거 CPU를 한개의 LSI로 실현되게 되었다.

이를 Microprocessor라 한다.

메모리는 회로구성이 완전히 규칙적이기 때문에 processor보다 더빨리 LSI화 되었다.

또한 入出力회로도 LSI화 되어 있다.

入出力 port, 入出力 interface 등도 역시 최근에는 MSI chip에 의해 조립할 수 있게 되었다.



〈그림- 1 - 1〉 계산기의 구성

1. 2 2식신호에 의한 숫자의 표현

LSI의 입력신호 내부에서 취급하는 신호 및 출력신호는 전부 2식신호이다. 즉 저전압과 고전압의 두가지 Level만을 취하는 신호를 의미한다. 현재 가장 널리 사용되는 n형 MOS·LSI는 전원전압이 5V이고 저전압레벨은 약 0.5V, 고전압레벨은 약 2.4V이다.

전기신호 관점에서 이 두가지 level을 L(low), H(high)로 표현한다. 한편 정보관점에서는 0,1로 표현한다.

보통 저전압 level을 L, 고전압 level을 H을 1로 대응시키며 이를 양의 논리(positive logic)라 하며 그 반대를 음의 논리(Negative logic)라 한다.

4개의 신호선 즉 4개의 2치신호 $X_3X_2X_1X_0$을 사용시에는 표1. 1과 같이 2진수 10진수 및 16진수 표시가 각각 대응된다.

1개의 2치신호 X_i을 1bit의 신호로 나타낸다.

bit는 정보량의 최소단위이다. $X_3X_2X_1X_0$는 4 bits, $X_7X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$은 8 bits을 나타낸다.

한편

1 byte = 8 bits

와 같이 정의하여 정보표시 단위의 크기를 확대시킨다.

4 bits $X_3X_2X_1X_0$를 네자리의 2진수라고 생각하면 그

〈표- 1. 1〉 2 진수, 10진수 및 16진수표시

$X_3X_2X_1X_0$	10진수표시	16진수표시
0 0 0 0	0	0
0 0 0 1	1	1
0 0 1 0	2	2
0 0 1 1	3	3
0 1 0 0	4	4
0 1 0 1	5	5
0 1 1 0	6	6
0 1 1 1	7	7
1 0 0 0	8	8
1 0 0 1	9	9
1 0 1 0	10	A
1 0 1 1	11	B
1 1 0 0	12	C
1 1 0 1	13	D
1 1 1 0	14	E
1 1 1 1	15	F

수치는

$X_3 \cdot 2^3 + X_2 \cdot 2^2 + X_1 \cdot 2^1 + X_0 \cdot 2^0$

로 주어지며 X_3을 최대자리수(MSB), X_0을 최소자리수(LSB)라 한다. $X_3X_2X_1X_0 = (1\,0\,1\,1)_2$인 경우

$1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 1^0$

$= 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = (1\,1)_{10}$

〈표1. 2〉 양·음수의 표시법

10진수	부호 및 절대치에 의한 표시	2의 보수에 의한 표시
15	0 1111	0 1111
14	0 1110	0 1110
13	0 1101	0 1101
12	0 1100	0 1100
11	0 1011	0 1011
10	0 1010	0 1010
9	0 1001	0 1001
8	0 1000	0 1000
7	0 0111	0 1111
6	0 0110	0 0110
5	0 0101	0 0101
4	0 0100	0 0100
3	0 0011	0 0011
2	0 0010	0 0010
1	0 0001	0 0001
0	0 0000	0 0000
−1	1 0001	1 1111
−2	1 0010	1 1110
−3	1 0011	1 1101
−4	1 0100	1 1100
−5	1 0101	1 1011
−6	1 0110	1 1010
−7	1 0111	1 1001
−8	1 1000	1 1000
−9	1 1001	1 0111
−10	1 1010	1 0110
−11	1 1011	1 0101
−12	1 1100	1 0100
−13	1 1101	1 0011
−14	1 1110	1 0010
−15	1 1111	1 0001
−16		1 0000

즉 $(1011)_2 = (11)_{10}$

음수표현법으로는

(a) 부호와 절대치로 표현하는 방법

(b) 2의 보수로 나타내는 방법의 두가지 방법이 있다. **표1. 2**는 5자리의 경우이다. (a)의 방법에서는 X_4을 부호를 $X_3X_2X_1X_0$을 절대치를 나타낸다. 즉 $X_4=$ $=0$이면 양수 $X_4=1$이면 음수라고 약속한다. (b) 인 경우에는 11111을 −1로 11110을 −2로, 00001을 +1로 01111을 +15로 각각 나타내게한 것으로 더하기와 뺄셈회로가 매우 간단해 진다.

표1. 2에서 알 수 있는 바와같이 2의 보수에 의한 표현인 경우에도 부호는 최고자리수로 판단됨을 알 수 있다. 즉 0이면 양이고 1이면 음수이다.

계산기내부에서 2진수 표현을 사용시 10진수로 주어진 수치는 우선 2진수표현으로 변환후 계산하고 그 결과는 다시 10진수로 변환표시되게 되므로 이러한 변환과정이 복잡하게 되어 계산자체보다 변환처리에 더 많은 시간이 걸리게 될 수도 있다. 그러기 때문에 계산기 내부에서도 10진법표현을 유지하는 경우가 있다.

표1. 1의 $X_3X_2X_1X_0$의 16개의 수치가운데 0부터 9에 대응하는 것만을 사용한다. 예를들면 4자리의 10진수 4567은 16bits을 사용하여

$\underbrace{0\,1\,0\,0}_{4} \quad \underbrace{0\,1\,0\,1}_{5} \quad \underbrace{0\,1\,1\,0}_{6} \quad \underbrace{0\,1\,1\,1}_{7}$

로 나타낸다.

이것을 2진화10진부호(Binary-coded decimal code BCD code)라 한다. key board에서 수치를 入力시킬때라던가 숫자표시기에 수치를 出力시키는 경우, 이 BCD부호를 사용하는 경우가 많다. 여러 Processor 에는 이 BCD부호만으로 더하기 및 빼기계산을 할 수 있는 연산 회로가 준비되어 있다.

BCD부호에 의한 2치표현의 결점은 그 표현이 길어진다는 점이다. 예를들면

1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1

와 같이 표현은 매우 불편하다. 그리하여 이를 간단히 하기 위하여 4 bits씩 구분한 16진부호(hexadecimal code)를 사용하게 되었다. 즉

$\underbrace{1\,0\,1\,0}_{A} \quad \underbrace{1\,0\,0\,1}_{9} \quad \underbrace{1\,1\,1\,1}_{F} \quad \underbrace{0\,0\,1\,1}_{3}$

$1\,0\,1\,0\,1\,0\,0\,1\,1\,1\,1\,1\,0\,0\,1\,1_{(2)} = A\,9\,F\,3_{(16)}$

〈다음호에 계속〉