

자동제어

1. 자동제어계의 요소와 구성

1. 자동제어 장치의 분류

- 제어량의 성질에 따른 분류

프로세서 제어	<ul style="list-style-type: none">온도, 유량, 압력, 액위, 농도, 밀도생산공정중의 상태량, 외란의 억제를 주목적으로 함.
서어보 기구	<ul style="list-style-type: none">위치, 방위, 자세기계적 변위를 제어량으로 추종
자동조정	<ul style="list-style-type: none">전압, 전류, 주파수, 회전속도, 힘

- 조절부 동작에 의한 분류

비례제어	<ul style="list-style-type: none">P제어잔류편차(off-set)가 생기는 결점
비례미분제어	<ul style="list-style-type: none">PD제어속응성과도특성 개선
비례적분제어	<ul style="list-style-type: none">PI제어
비례적분미분제어	<ul style="list-style-type: none">PID제어잔류편차제어
온-오프제어	<ul style="list-style-type: none">불연속제어

- 제어목적에 따른 분류

정치제어	<ul style="list-style-type: none">어떤 일정한 목표값을 유지하는 것
프로그램 제어	<ul style="list-style-type: none">정해진 프로그램에 따라 제어량을 변화 시키는 것
추종제어	<ul style="list-style-type: none">임의 시간적 변화를 하는 목표값에 제어량을 추종하는 것
비율제어	<ul style="list-style-type: none">목표값이 다른것과 일정 비율 관계를 가지고 변화하는 것

2. 피드백 제어계의 특징

- 정확성 증가
- 계의 특성 변화에 대한 입력 대 출력비의 감도 감소
- 비선형성과 왜형에 대한의과의 감소
- 감대폭 증가
- 발진을 일으키고 불안정한 상태로 되어가는 경향성
- 반드시 입력과 출력을 비교하는 장치가 있어야 한다.

2. 라플라스 변환

3. 라플라스 변환

정의 : $F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$

$f(t)$ 를 라플라스 변환하면 $F(s)$ 가 된다. 다음표와 같다.

	$f(t)$	$F(s)$
임펄스함수	$\delta(t)$	1
단위계단함수	$u(t), 1$	$\frac{1}{s}$
단위램프함수	t	$\frac{1}{s^2}$
n차 램프함수	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
정현파 함수	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
지수감쇠함수	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
지수감쇠램프함수 복소추이	$t^n e^{at}$	$\frac{n!}{(S+a)^{n+1}}$
정현파 램프함수	$t \sin \omega t$	$\frac{2\omega s}{(s^2 + \omega^2)^2}$
	$t \cos \omega t$	$\frac{s^2 - \omega^2}{(s^2 + \omega^2)^2}$
지수감쇠정현파함수	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$
쌍곡선함수	$\sinh \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$
	$\cosh \omega t$	$\frac{s}{s^2 - \omega^2}$

4. 라플라스의 성질

선형정리	• $\mathcal{L}[af_1(t) + bf_2(t)] = aF_1(s) + bF_2(s)$
시간추이정리	• $\mathcal{L}[f(t-a)] = e^{-as}F(s)$
복소추이정리	• $\mathcal{L}[e^{-at}f(t)] = F(s+a)$
복소미분정리	• $\mathcal{L}[t^n f(t)] = (-1)^n \frac{d^n}{ds^n} F(s)$
초기값정리	• $\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$
최종값정리	• $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$

3. 전달함수

5. 정의 : 모든 초기값을 0 으로 했을 경우 입력에 대한 출력의 비

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$$

6. 제어요소

비례요소	$G(s) = K$	• 스프링	• 저항 R
		• $f = kx$ • $G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = k$	• $V_0(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i(t)$ • $G(s) = \frac{V_0(s)}{V_i(s)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = k$
적분요소	$G(s) = \frac{K}{s}$	• 유량	• 콘덴서 C
		• $h(t) = \frac{1}{A} \int q(t) dt$ • $G(s) = \frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{1}{As}$	• $e(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$ • $G(s) = \frac{E_c(s)}{I(s)} = \frac{1}{Cs}$
미분요소	$G(s) = Ks$	• $\frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{RCs}{1 + RCs}$ • $\frac{Ks}{1 + Ks}$ (1차지연을 포함한 미분요소)	
1차지연요소	$G(s) = \frac{K}{1 + Ks}$	• $\frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{R}{1 + RCs}$	
2차지연요소	$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + \delta\omega_n s + \omega_n^2}$	• $\frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1}$	

7. 물리계와 대응관계

직선계	회전계	전기계
m 질량	J 관성	L 인덕턴스
B 마찰	B 마찰	R 저항
k 스프링	k 스프링	C 콘덴서
x 변위	θ 각변위	θ 온도차
v 속도	ω 각속도	I 전류
F 힘	T 토크	E 전압

4. 블록선도와 신호흐름선도

8. 블록선도

- 공식 $G(s) = \frac{\text{경로}}{1 - \text{폐로}}$
- 경로 : 입력에서 출력으로 가는 도중에 있는 각소자의 곱
- 폐로 : 입력으로 되돌아 오는 도중에 있는 각소자의 곱

9. 신호흐름선도

- 정의 : 제어계의 특성을 블록선도 대신 신호의 흐름의 방향을 전달과정으로 표시
- 공식 $G = \frac{G_k \cdot \Delta_k}{\Delta} = \frac{\text{전향경로}}{\text{loop의 값}} = \frac{\text{경로}}{1 - \text{폐로}}$

5. 자동제어계의 과도 응답

10. 시간응답 특성

- ① 오버슈트 : 과도상태중 계단입력을 초과하여 나타나는 출력의 최대 편차량

$$\text{백분율 오버 슈트} = \frac{\text{최대 오버 슈트}}{\text{최종 목표값}} \times 100 [\%]$$

- ② 지연시간(시간늦음) : 정상값의 50% 에 도달하는 시간
- ③ 상승시간 : 정상값의 10~90%에 도달하는 시간
- ④ 정정시간 : 응답의 최종값의 허용 범위가 5~10% 내에 안정되기 까지 요하는 시간
- ⑤ 감쇠비

$$\text{감쇠비} = \frac{\text{제2 오버 슈트}}{\text{최대 오버 슈트}}$$

- ⑥ 과도현상은 시정수가 클수록 오래 지속된다.

11. 특성 방정식 : 폐루프 전달함수의 분모를 0 으로 놓은 식, 이때 의 근을 특성근이라 한다.

12. 임펄스 응답

입력과 출력을 알면 임펄스 응답을 알 수 있다.

13. 인디셜 응답

단위 계산 입력 신호에 대한 과도 응답

14. 1차 제어계의 과도 응답

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_c}{Ts + K_c + 1} = \frac{K}{\tau + 1}$$

$$K = \frac{K_c}{K_c + 1}, \quad \tau = \frac{T}{K_c + 1}$$

$$C(t) = K(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t})$$

15. 2차 제어계의 전달함수

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}$$

특성 방정식 : $s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$ (δ :제동비, 감쇠계수 ω_n : 고유주파수)

$$\text{근} : s = -\delta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\delta^2}$$

$$\textcircled{1} \delta < 1 \text{ 경우} : \text{부족제동} \quad s = -\delta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\delta^2}$$

$$\textcircled{2} \delta = 1 \text{ 경우} : \text{임계제동} \quad s = -\omega_n$$

$$\textcircled{3} \delta > 1 \text{ 경우} : \text{과제동} \quad s = -\delta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\delta^2-1}$$

$$\textcircled{4} \delta = 0 \text{ 경우} : \text{무제동} \quad s = \pm j\omega_n$$

6. 편차와 감도

16. 정상편차

• 정상위치편차 : 입력이 단위 계단 함수 일 때 편차

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{R(s)}{1+G(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1+G(s)} \cdot \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1+G(s)} \\ &= \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} G(s)} \\ &= \frac{1}{1 + K_p} \end{aligned}$$

$\therefore K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) \rightarrow$ 위치편차 상수 $\rightarrow 0$ 형(단위계단함수에서 생김)

• 정상속도편차 : 입력이 단위 램프 함수

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1+G(s)} \cdot \frac{1}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s+sG(s)} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} sG(s)} = \frac{1}{K_v}$$

$\therefore K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) \rightarrow$ 속도편차상수 $\rightarrow 1$ 형(단위램프함수에서 생김)

• 정상 가속도 편차

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1+G(s)} \cdot \frac{1}{s^3} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^2+s^2G(s)} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} s^2G(s)} = \frac{1}{K_a}$$

$\therefore K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2G(s) \rightarrow$ 가속도 편차 $\rightarrow 2$ 형(포물선 함수에서 생김)

17. 감도

계의 전달함수의 한 파라미터가 지정값에서 벗어났을 때의 전달함수가 지정값에서 벗어난 양의 크기

$$S_K^T = \frac{K}{T} \frac{dT}{dK}$$

7. 주파수 응답

18. 주파수 응답에 필요한 입력

- 정현파 입력

19. 벡터궤적

ω 가 $0 \sim \infty$ 까지 변화하였을 때의 $G(j\omega)$ 의 크기와 위상각의 변화를 극좌표에 그린 것으로 이 궤적을 나이퀴스트 선도라 한다.

비례요소	$G(s) = K$	$G(j\omega) = K$
미분요소	$G(s) = s$	$G(j\omega) = j\omega$
적분요소	$G(s) = \frac{1}{s}$	$G(j\omega) = \frac{1}{j\omega} = -j\frac{1}{\omega}$
비례적분요소	$G(s) = 1 + Ts$	$G(j\omega) = 1 + j\omega T$
1차지연요소	$G(s) = \frac{1}{1 + Ts}$	$G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T}$ $G(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \angle \tan^{-1} \omega T$
2차지연요소	$G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\delta Ts + 1}$	$G(j\omega) = \frac{1}{(j\omega T)^2 + j2\omega\delta T + 1}$ $G(j\omega) = \frac{1}{1 - (\omega T)^2 + j2\omega\delta T + 1}$ $G(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - u)^2 + (2\delta u)^2}} \angle -\tan^{-1} \frac{2\delta u}{1 - u}$
부동작시간요소	$G(s) = e^{-Ls}$	$G(j\omega) = e^{-j\omega L} = \cos \omega L - j\sin \omega L$
		$G(j\omega) = \sqrt{(\cos \omega L)^2 + (\sin \omega L)^2} \angle \tan^{-1} -\frac{\sin \omega L}{\cos \omega L} = -\omega L$

20. 보드 선도

- 이득선도 : 횡축에 주파수와 종축에 이득값(데시벨)으로 그린 그림
- 위상선도 : 횡축에 주파수와 종축에 위상값(°)로 그린 그림
- $G[\text{dB}] = -20 \log |G(j\omega)|$

21.

$G(s) = s$ 의 보드선도	+20 [dB/dec] 의 경사를 가지며 위상각은 90°.
$G(s) = s^2$ 의 보드선도	+40 [dB/dec] 의 경사를 가지며 위상각은 180°.
$G(s) = s^3$ 의 보드선도	+60 [dB/dec] 의 경사를 가지며 위상각은 270°.

8. 제어계의 안정도

22. 루소 안정도 판별법

- 제어계의 안정조건 : 특성방정식의 근이 모두 s 평면의 좌반부에 있어야 한다.
- 조건 : ① 모든 계수의 부호가 동일 할 것.
② 계수중 어느하나라도 0 아닐 것.
③ 루소 열수의 제1열의 부호가 같을 것.

23. 홀비쯔 판별법 : 특성방정식의 계수로서 만들어진 행렬식에 의해 판별하는 방법

24. 나이퀴스트 판별법 :

- 계의 주파수 응답에 관한 정보를 준다
- 계의 안정을 개선하는 방법에 대한 정보를 준다.
- 안정성을 판별하는 동시에 안정도를 지시해 준다.
- 안정조건

반시계 방향에서는 안쪽에 $(-1, j 0)$ 이 있으면 불안정

시계 방향에서는 안쪽에 $(-1, j 0)$ 이 있으면 불안정

25. 이득여유

- 이득여유는 위상선도가 -180° 를 초과 교차하는 점에 대응되는 이득의 크기 [dB]값이다.

- 이득여유 $(GM) = 20 \log \frac{1}{|GH|} \text{ [dB]}$

26. 나이퀴스트 선도에서 안정계에 요구되는 여유

- 이득여유 $(GM) = 4 \sim 12 \text{ [dB]}$
- 위상여유 $(PM) = 30 \sim 60^\circ$.

27. 보드선도에서 안정계의 조건

- 위상여유 $\phi_m > 0$
- 이득여유 $g_m > 0$
- 위상 교점 주파수 $<$ 이득 교점 주파수

28. 루소-홀비쯔 표를 작성할 때 제1열 요소의 부호 변환을 무엇을 의미는 s 평면의 우반면에 존재하는 근의 수를 의미한다.

29. 특성방정식의 근이 좌반부 즉, 음의 반평면에 있으면 안정한다.

30. 보상법

- 위치제어계의 종속 보상법중 진상요소의 주된 사용 목적은 속응성을 개선하는 것이다.
- 진상 보상기는 과도응답의 속도를 보상한다.
- 위상여유가 증가하고, 공진첨두값이 감소한다.

9. 근궤적법

31. 정의 : 개루프 전달함수의 이득정수 K 를 $0 \sim \infty$ 까지 변화를 시킬 때의 특성근 즉, 폐루프의 전달함수의 극의 이동궤선을 말함.

32. 작도법

- 극점에서 출발하여 원점에서 끝남.
- 근궤적은 $G(s)H(s)$ 의 극에서 출발하여 0 점에서 끝나므로 근궤적의 갯수는 z 와 p 중 큰 것과 일치한다. 또한 근궤적의 갯수는 특성방정식의 차수와 같다.
- 근궤적의 수 : 근 궤적의 수 (N)는 극점의 수(p)와 영점의 (z)에서
 - $z > p$ 이면 $N = z$
 - $z < p$ 이면 $N = p$
- 근궤적의 대칭성 : 특성 방정식의 근이 실근 또는 공액복소근을 가지므로 근궤적은 실수축에 대하여 대칭이다.
- 근궤적의 점근선 : 큰 s 에 대하여 근궤적은 점근선을 가진다.
- 점근선의 교차점 : 점근선은 실수 축상에만 교차하고 그 수는 $n = p - z$ 이다.

33. 근궤적상의 임의의 점의 K 의 계산

$$K = \frac{1}{|G(s_1)H(s_1)|}$$

34. 폐루프의 전달함수

$$G(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

35. 점근선의 교차점

$$\sigma = \frac{\sum G(s)H(s)의 극 - \sum G(s)H(s)의 영점}{p - z}$$

36. 이득여유

$$\text{이득 여유} = 20 \log \frac{\text{허수축과의 교차점에서 } K \text{의 값}}{K \text{의 설계값}} \text{ [dB]}$$

10. 상태 방정식

37. 전이행렬

- $\Phi(t) = \mathcal{L}^{-1}[(sI - A)^{-1}]$ 이며 전이 행렬은 다음과 같은 성질을 갖는다.
 - ① $\Phi(0) = I$ (I 는 단위행렬)
 - ② $\Phi^{-1}(t) = \Phi(-t) = e^{-At}$
 - ③ $\Phi(t_2 - t_1)\Phi(t_1 - t_0) = \Phi(t_2 - t_0)$ (모든값에 대하여)
 - ④ $[\Phi(t)]^K = \Phi(Kt)$ 여기서, K 는 정수

38. n 차 선형 시불변 시스템의 상태 방정식은 $\frac{d}{dx} x(t) = Ax(t) + By(t)$ 일 때 제어계의 특성방정식은 $|sI - A| = 0$ 이다.

39. z 변환법

- 라플라스 변환 함수의 s 대신 $\frac{1}{T} \ln z$ 를 대입하여야 한다.
- s 평면의 허축은 z 평면상에서는 원점을 중심으로 하는 반경 1인 원에 사상
- s 평면의 우반평면은 z 평면상에서는 이원의 외부에 사상
- s 평면의 좌반평면은 z 평면상에서는 이원의 내부에 사상

$\lim_{t \rightarrow 0} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} E(z)$		
$f(t)$	$F(s)$	$F(z)$
$\delta(t)$	1	1
$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$
t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z - e^{-aT}}$

11.제어기기

40. 변환요소

변환량	변환요소
압력 → 변위	벨로우즈, 다이어프램, 스프링
변위 → 압력	노즐플래퍼, 유압 분사관, 스프링
변위 → 임피던스	가변저항기, 용량형 변환기
변위 → 전압	포텐서미터, 차동변압기, 전위차계
전압 → 변위	전자석, 전자코일
광 → 임피던스	광전관, 광전도 셀, 광전 트랜지스터
광 → 전압	광전지, 광전 다이오드
방사선 → 임피던스	GM 관, 진리함
온도 → 임피던스	측온 저항(열선, 서미스터, 백금, 니켈)
온도 → 전압	열전대

41. 서보모터

- 원칙적으로 정역이 가능하여야 한다.
- 저속이며 거침없는 운전이 가능하여야 한다.
- 기계적 응답이 우수하여 속응성이 좋아야 한다.

- 급감속, 급가속이 용이한 것이어야 한다.
- 시정수가 작아야 하며, 기동토크가 커야한다.

42. 서미스터 : 감열저항체 소자로서 온도 상승에 따라 저항이 감소하는 특성을 가지며, 구성은 니켈, 망간, 코발트 등의 산화물을 혼합한 것이다. 주로 온도 보상용으로 사용된다.

43. 제너 다이오드 : 제너 다이오드는 정전압 소자로 만든 PN 접합 다이오드로서 정전압 다이오드라고 하며 전압의 범위는 약 3[V]~150[V]정도 까지 다양한 종류가 있다. 전압의 안전을 위해 사용한다.

44. 터널다이오드 : 증폭작용, 발진작용, 개폐작용

45. 실리콘 정류 제어소자

- PNPN 구조
- 게이트 전류에 의하여 방전 개시 전압을 제어할 수 있다.
- 특성 곡선에 부저항 부분이 있다.

46. 제어계에 가장 많이 이용되는 전자 요소는 증폭기 이다.