

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>  
G05B 11/42

(45) 공고일자 1994년06월 10일  
(11) 공고번호 특1994-0005028

(21) 출원번호	특1990-0014538	(65) 공개번호	특1991-0006808
(22) 출원일자	1990년09월 14일	(43) 공개일자	1991년04월30일
(30) 우선권주장	1-237153 1989년09월 14일	일본(JP)	
(71) 출원인	가부시끼가이샤 도시바 아오이 조이찌		
	일본국 가나가와켄 가와사끼시 사이와이구 호리가와쵸오 72		

(72) 발명자 구로사와 료이찌  
일본국 도오교도 후쥬시 도시바쵸오 1 가부시끼가이샤 도시바 후쥬시 공장 내  
(74) 대리인 문기상, 조기호

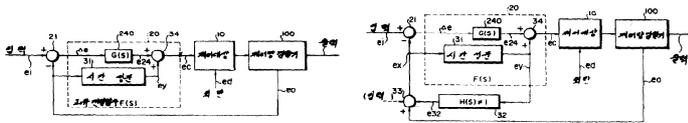
심사관 : 강해성 (책자공보 제3648호)

(54) 피드백 제어 시스템

요약

내용 없음.

대표도



명세서

[발명의 명칭]

피드백 제어 시스템

[도면의 간단한 설명]

- 제1a도는 본 발명의 피드백 제어시스템의 기본구성을 나타내는 블록도.
- 제1b도는 본 발명의 피드백 제어시스템의 다른 구성을 나타내는 블록도.
- 제2도는 본 발명의 일 실시예를 나타낸 시스템 구성도.
- 제3도는 본 발명의 실시예의 응답파형도.
- 제4도는 본 발명의 실시예의 파라미터 변화가 있을때의 응답파형도.
- 제5도는 본 발명의 제2 실시예를 나타낸 시스템 구성도.
- 제6도는 본 발명의 제2 실시예의 응답파형도.
- 제7도는 본 발명의 제2 실시예의 파라미터 변화가 있을때의 응답파형도.
- 제8도는 본 발명의 제3 실시예를 나타낸 시스템 구성도.
- 제9도는 본 발명의 제3 실시예의 응답파형도.
- 제10도는 본 발명의 제4 실시예를 나타낸 시스템 구성도.
- 제11 및 12도는 본 발명의 제4 실시예의 응답파형도.
- 제13도는 연속치계 제어(continuous-time system control)의 구성도.
- 제14도는 제13도의 응답파형도.
- 제15도는 제13도 연속치계 제어에서 파라미터 변화가 있을 경우의 응답파형도.

제 16도는 샘플치제어(sampled data control)의 구성도.

제 17도는 제 16도에 나타난 샘플치계 제어의 구성도.

제 18도는 제 16도 응답파형도.

제 19도는 제 16도에서 파라미터 변화가 있을때의 응답파형도.

#### [발명의 상세한 설명]

본 발명은 제어량지령치에 따라서 제어 대상의 출력을 제어하는 피드백제어 시스템에 관한 것이다.

제어량지령치에 따라서 제어대상의 출력을 제어하기 위하여 피드백제어가 행해진다. 피드백제어를 행하기 위한 제어연산부는 연산 증폭기를 사용하는 아날로그 연산형과 마이크로 컴퓨터등을 사용한 디지털연산형의 2종류가 있다. 아날로그 연산에 의한 피드백제어는 피드백할 제어량지령치나 그의 신호에 응답해서 연속적으로 제어연산을 하는 것이 특징이고, 이런 관점에서 아날로그 연산에 의한 피드백제어를 연속치계 제어(continuous-time system control)라 한다. 한편 디지털 연산에 의한 제어는 이들 제어량 신호들을 어느시간 간격으로 샘플링한 신호에 응답한 제어연산에 의해 행해지므로 샘플치계 제어라 한다.

연속치계 제어는 제어량 지령치 변화 및/또는 외란 발생후에 정상상태로 안정되기까지의 시간 즉 정정시간이 길지만, 한편 상기 제어는 제어대상의 파라미터변화에 상관없이 응답특성이 변화되지 않는다는 이점이 있다.

현재 샘플데이터 제어에 의해 유한시간내에 제어량을 안정시키는 것이 실용되고 있으나, 상기 제어는 조작량의 단계적 변화가 동시에 일어나므로 바람직하지 않는 결과가 제어대상에 초래하게된다. 전동기제어의 경우 조작량 지령치의 단계적 변화내에 큰 값이 있을 경우 모터에 연결된 부하에 심한 충격을 줄 것이다.

또 샘플치계 제어에 의하면 제어연산이 샘플러에 의해서 바로 샘플된 신호에 따라서 행해진다. 그런 경우에 신호 샘플링 순간에 제어량 검출기로부터의 제어량을 피드백 하기 위한 신호가 잡음(외란)을 수반하게 되어 그 외란에 의해 제어능력이 크게 영향 받는다.

또, 제어대상을 위한 제어연산부의 적분계인( $K_i$ ), 비례계인( $K_p$ )등이 최적으로 선정될 경우 한정된 시간내에 제어량을 정정할 수 있다. 그러나 선정된 제어계인과 제어대상간의 관계가 제어시스템의 일부분의 변화로 인하여 상실될 경우에 제어성이 크게 나빠져서 유한 시간내에 상정응답을 볼수 없게 된다.

상술한 문제점을 해결하기 위하여 샘플링 기간을 줄여서 비교적 다수의 샘플링을 통하여 제어량을 안정화하는 제어대상의 파라미터 변화에 강한 제어시스템을 제어하는 것을 생각할 수 있다. 그러나 이것은 제어연산부의 구성을 복잡화하고, 제어연산부내의 조정을 요하는 파라미터(계인)의 수가 증가된다. 따라서 그와같은 시스템의 실현을 어렵게 한다.

본 발명의 목적은 상술한 점에 반영되고, 연속치계 제어를 원활히 하고 제어 시스템의 파라미터 변화에 강한 특징 뿐만 아니라 샘플치계 제어의 유한시간 안정화를 할 수 있는 특징을 갖는 피드백 제어시스템을 제공하는데 있다.

본 발명은 피드백 제어시스템을 구성하는 제어연산부에 이제까지 적용시켜 왔던 적분요소나 비례요소 등 이외에도 지연요소가 추가되어 있다. 이 지연요소의 지연시간은 정정시간(즉 제어량 지령치의 변화에 대해서 제어량을 추종시키기 위한 시간)또는 제어 대상에 외란이 가해졌을때에 제어량을 제어량 지령치로 복귀시키기 위한 시간에 의해 결정된다. 다시말하면 제어연산부, 제어대상 및/또는 제어량 검출기가 연산지연시간, 무효시간 및 검출지연시간에 각각 직면할 경우에는 이들의 지연요소의 지연시간은 상기 각각의 지연시간과 동일하거나 또는 이들 지연시간의 합계시간과 동일하게 선정한다.

따라서 제어연산부가 기본적으로 안정시간이 가산된 시간과 동일한 지연시간을 갖는 지연요소를 갖는 본 발명은 종래의 제어에서 소망하는 정정이 완료된 시간 이후에도 계속하는 성향이 있는 응답을 무효화하는 추가기능을 갖고 있어 제어연산부가 정정시키고자 하는 시간에 응답을 정정시킬 수 있는 것이 특징이다.

따라서 본 발명을 연속시스템에 적용시킴으로써 샘플치계 제어의 특징인 유한 정정 시간응답 제어를 실현시킬 수 있고, 또한 본 발명을 샘플치계 제어에 사용함으로써, 유한정정 제어를 유지하면서 연속치계 제어의 기술적 특징인 원활하고, 파라미터 변화등에 강한 제어를 실현시킬 수 있다.

본 발명의 추가 목적들과 이점들은 후술하는 본 발명의 설명으로 명백히 알 수 있을 것이다. 본 발명의 상술한 목적들과 이점들은 청구범위에 구체적으로 지적한 수단들과 조합에 의해서 실현시킬 수 있고 성취될 수 있다.

본 발명의 실시예의 설명에 앞서서 연속치계 제어와 샘플치계 제어에 대해서 설명한다.

제 13도는 제어대상(10)의 적분기(11)( $1/s$ : $s$ 는 라플라스 변환의 변수)로 구체화 된 가난한 연속치계 제어의 경우이다. 실제의 제어에서는 연속치계 제어는 조작량지령치(ec)에 상응하는 유량의 물을 흘러서 탱크의 수위를 제어하는 제어대상이 물탱크인 경우 또는 모터에 조작량지령치(ec)에 상응하는 전류를 흘러서 모터의 속도를 제어하는 제어대상이 모터인 경우등에 대응한다.

전자의 경우에 외란(ed)은 물탱크로 부터 소비되는 물의 유량이고, 후자의 경우에 외란(ed)은 모터에 가해지는 부하 토크이다.

이들 경우에 공통으로 외란(ed)은 조작량지령치(ec)에 가산되고 그 합계가 감산기(12)에 의해서 제공된다.

제어연산부(20)는 이제까지 사용되어 온 적분요소(I)와 비례요소(P)를 조합한 소위 I-P제어라고 칭하는 연산을 행한다.

설명을 간단히 하기 위하여 제어량을 검출하는 제어량 검출기는 검출계인을 1로하고, 그에대한 설명은 생략한다.

상기 연산에서는 제어량 지령치(ei)와 피드백 신호인 제어량(ec)과의 차(Δe)가 감산기(21)에 의해 구해진다.

구해진 차(Δe)는 연속적으로 적분계인(ki)을 갖는 적분증폭기(22)에 의해서 적분증폭된다. 그다음 적분증폭기의 출력(e22)과 비례계인(Kp)을 갖는 비례증폭기(23)에 의해서 제어량(eo)을 kp배 증폭시킨 신호간의 차가 조작량 지령치(ec)로서 감산기(24)에 의해서 구해지고 이 조작량 지령치(ec)에 따라서 제어대상(10)이 조작된다.

제어량 지령치(ei)에 대한 제어량(eo)의 전달함수를 지령치 전달함수(GC(S))로 하고, 이것을 구하면 하기 식(1)으로 된다.

$$GC(S) = \frac{eo(s)}{ei(s)} = \frac{\frac{K1}{S2}}{1 + (Kp + \frac{Ki}{S}) \cdot \frac{1}{S}} = \frac{Ki}{S^2 + Kps + Ki} \dots\dots\dots(1)$$

식중, ei(s) : 제어량 지령치의 라플라스변환결과, eo(s):제어량의 라플라스변환결과, 제어량지령치(ei(s))가 단위스텝함수(1/s)라고 하면 제어량(eo(s))은 하기식(2)이 된다.

$$eo(s) = Go(S) \cdot \frac{1}{s} = \frac{Ki}{s(s^2 + Kps + Ki)} \dots\dots\dots(2)$$

역라플라스변환에 의해서 시간응답 [eo(t)] 을 구하면 하기식(3) 또는 식(4)이 된다.

L<sup>-1</sup>: 역라플라스변환을 가리키는 부호

$$eo(t) = L^{-1} \frac{Ki}{S(S^2 + Kps + Ki)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{Kp^2 - 4Ki}} (S_1 e^{-S_1 t} - S_2 e^{-S_2 t}) \dots\dots\dots(3)$$

단  $Kp^2 - 4ki \geq 0$ 일때

$$S_1 = \frac{Kp - \sqrt{Kp^2 - 4Ki}}{2}$$

$$S_2 = \frac{Kp + \sqrt{Kp^2 - 4Ki}}{2}$$

또는

$$eo(t) = 1 - \epsilon - \frac{Kpt}{2} (\cos \omega t + \frac{Kp}{2\omega} \sin \omega t) \dots\dots\dots(4)$$

단  $Kp^2 - 4ki < 0$  일 때

$$\omega = \sqrt{Ki - \frac{Kp^2}{4}}$$

또 상기와 같이 외란(ed)에 대한 제어량(eo)의 전달함수를 외란 전달함수(Gd(s))로 하여 이것을 구하면 하기식(5)이 된다.

$$Gd(s) = \frac{eo(s)}{ed(s)} = \frac{\frac{1}{s}}{1 + (Kp + \frac{Ki}{s}) \cdot \frac{1}{s}} = \frac{s}{s^2 + Kps + Ki} \dots\dots\dots(5)$$

식중, ed(s):외란(ed)의 라플라스변환결과, 외란(ed(s))이 단위스텝함수(1/S)라고 하면 제어량(eo(s))은 하기식(6)이 된다.

$$eo(s) = Gd(s) \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s^2 + Kps + Ki} \dots\dots\dots(6)$$

역라플라스변환에 의해서 시간응답 [eo(t)] 를 구하면 하기식(7) 또는 식(8)이 된다.

$$eo(t) = L^{-1} \frac{1}{S^2 + Kps + Ki} = \frac{1}{\sqrt{Kp^2 - 4Ki}} (\epsilon - S_1 t - \epsilon S_2 t) \dots\dots\dots(7)$$

식중, L<sup>-1</sup> : 라플라스변환을 나타내는 부호

단  $kp^2 - 4ki \geq 0$  일때에

$$S_2 = \frac{Kp - \sqrt{Kp^2 - 4Ki}}{2}$$

$$S_1 = \frac{Kp + \sqrt{Kp^2 - 4Ki}}{2}$$

또는

$$e_o(t) = \frac{1}{\omega} e^{-\frac{Kp}{2} t} \sin \omega t \dots\dots\dots (8)$$

단  $kp^2 - 4ki < 0$  일때에

$$\omega = \sqrt{Ki - \frac{Kp^2}{4}}$$

식 (3), 식(4), 식(7), 식(8)에서 명백한 바와 같이 상기 각 경우에서 제어량( $e_o(t)$ )은 시간( $t$ )에 대한 부의 지수함수( $e^{-\lambda t}$ :  $\lambda$ 는 정의 계수)를 포함한다. 이론적으로는 제어량 지령치( $e_i$ )나 외란( $e_d$ )에 변화가 있을때에 제어량( $e_o$ )이 제어량지령치( $e_i$ )와 같게 정정하려면 무한대의 시간을 필요로 한다. 실용적으로는 제어량지령치에 제어량이 완전히 일치되지 않아도 문제는 없으나 대략 같아지는 시간을 생각해도 긴 시간을 요한다.

제14도는 대표적인 응답파형을 나타내고 있다. 응답파형의 거의 요동하지 않도록 비례게인( $Kp$ )을 3, 적분게인( $Ki$ )를 3으로 조정하고, 시간  $t=0$ 초에서 제어량지령치( $e_i$ )가 0에서 1로 스텝상으로 변화하고, 시각  $t=5$ 초에서 외란( $e_d$ )이 0에서 -1로 변환된 경우의 제어량( $e_o(t)$ )과 조작량지령치( $e_c(t)$ )의 파형을 나타냈다.

이상 설명한 바와 같이 연속치계 제어에서는 정정시간이 긴 결점이 있는 반면에 제어대상의 파라메터 변화에 대해서 비교적응답이 변화되기 어려운 특징이 있다.

제15도에 제어대상이 단위게인의 적분기에 의해서 그 역라플라스 변환의 파라메터가 25%변화하여 1/s로부터 1.25/s로 된 경우의 응답파형을 나타내고 있다.

제15도에서 응답파형의 측정조건들을 제14도에 나타난 대표적인 응답파형의 측정조건들과 같다.

제15도는 파라메터의 변화에 대해서 변화되지 않은 파형을 나타내고 있다.

제어연산부(20)와 제어대상(10)의 모두 제13도와 다르더라도 제어량( $e_o$ )에 대한 응답은 시간( $t$ )에 대해서 부의 지수함수( $e^{-\lambda t}$ )를 포함하고 이런점에서 제13도에 나타난 것과 같다고 말할 수 있다.

샘플치계 제어에는 유한정정 제어와 데드비트제어 2모드가 있고 샘플치계 제어모드에 의하면 제어량 지령치, 외란에 변화가 있었을때의 응답을 샘플링주기의 정수배의 시간으로 정정할 수 있다.

상기 연속치계 제어의 경우와 같이 제어 대상이 적분기(1/s)로 표시되는 간단한 샘플치계 제어의 예를 제16도에 나타내고 있다.  $Z^{-1}$ 은 데드타임( $e^{-sT}$ )를 나타낸다.  $T$ 는 샘플링주기이다. 제어연산부(20)는 샘플치계 제어를 하기 위하여 제어량지령치( $e_i$ )나 피드백 신호인 제어량( $e_o$ )의 샘플치신호를 얻는 샘플러(25,26); 감산기(21,24); 적분연산, 비례연산, 비례연산 샘플치연산을 하는 적분증폭기(27); 비례 증폭기(28); 및 연속적인 조작량지령치로서 제어대상(10)으로 샘플치 연산한 시간적으로 간격을 둔 간헐치를 출력하는 샘플홀더(29)로 구성되어 있다.

제17도는 샘플치계 제어를 해석하기 위하여 Z-변환한 결과를 나타내고 있다.  $e_i(Z)$ ,  $e_o(Z)$ , 및  $e_d(Z)$ 는 각각 제어량지령치( $e_i$ ), 제어량( $e_o$ ) 및 외란( $e_d$ )의 Z변환결과이다.

제어량지령치( $e_i(Z)$ )에 대한 제어량( $e_o(Z)$ )의 펄스전달함수( $G_c(Z)$ )를 구하면 하기식(9)이 된다.

$$G_c(z) = \frac{e_o(z)}{e_i(z)} = \frac{\frac{T^2 Ki Z^{-1}}{(1 - Z^{-1})^2}}{1 + (Kp + \frac{TKi}{1 - Z^{-1}}) \frac{T Z^{-1}}{(1 - Z^{-1})}}$$

$$= \frac{T^2 Ki Z^{-1}}{1 - (2 - T(Kp + TKi))Z^{-1} + (1 - TKp)Z^{-2}} \dots\dots\dots (9)$$

여기서 식(9)의 분모가 1이 되도록 비례게인( $Kp$ ), 적분게인( $Ki$ )를 하기식(10), 식(11)의 관계를 갖게 선택하면, 지령치펄스 전달함수( $G_o(z)$ )는 하기식(12)으로 된다.

$$T \cdot Kp = 1 \dots\dots\dots (10)$$

$$T(Kp + TKi) = 2 \dots\dots\dots (11)$$

$$G_c(z) = Z^{-1} \dots\dots\dots (12)$$

식중, T : 샘플링 주기

식(12)의 지령치펄스전달함수( $G_c(z)$ )는 제어량지령치( $e_i$ )에 대해서  $Z^{-1}$ 로 표시되는 샘플링주기(T)의 지연으로 제어량( $e_o$ )이 응답하는 것을 나타내고 있고 1샘플링 주기로 제어가 정정된다.

마찬가지로 외란( $e_d(z)$ )에 대한 제어량( $e_o(z)$ )의 펄스전달함수를 외란펄스 전달함수( $G_d(z)$ )로 하고 이것을 구하면 하기식(13)이 된다.

$$G_d(z) = \frac{e_o(z)}{e_d(z)} = \frac{\frac{TZ^{-1}}{1-Z^{-1}}}{1 + (K_p + \frac{TK_i}{1-Z^{-1}}) \frac{TZ^{-1}}{1-Z^{-1}}} = \frac{TZ^{-1} - TZ^{-2}}{1 - \{2 - T(K_p + TK_i)\}Z^{-1} + (1 - TK_p)Z^{-2}} \dots\dots\dots (13)$$

식(10) 및 식(11)의 관계를 식(13)에 대입하면 하기식(14)이 된다.

$$G_c(z) = TZ^{-1} - TZ^{-2} \dots\dots\dots (14)$$

위에서 명백한 바와 같이 외란펄스 전달함수( $G_d(z)$ )는  $Z^{-1}$  및  $Z^{-2}$ 로 나타낼 수 있고 2샘플링 주기로 제어가 정정된다. 외란이 스텝상으로 변화된 경우에는 외란에 의한 제어량 변화가 2샘플링 주기의 시간내에 정상화된다.

제1도는 샘플링주기(T), 비례게인( $K_p$ ) 및 적분게인( $K_i$ )을 각각 0.5초, 2초 및 4초로 한 경우의 응답파형을 나타내고 있다. 이 응답파형들은 시각 t=0초에 제어량지령치( $e_i$ )가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화하고 시각 t=5초에 외란( $e_d$ )가 0으로부터 -1로 변화한 경우의 제어량( $e_o$ )과 조작량지령치( $e_c$ )의 파형들이다.

이상 설명한 바와 같이 샘플지계제어는 유한시간에 제어량을 정정시킬 수 있다.

이제 제1a도 및 제1b도를 참조하여 본 발명의 기본 시스템 구성을 설명하겠다. 제1a도의 시스템 구성에 있어서 제어량지령치( $e_i$ )는 감산기(비교기)(21)로 입력된다.

감산기(21)는 제어량( $e_o$ )과 제어량지령치( $e_i$ )간의 차를 전달함수( $G(s)$ )를 갖는 회로(240)를 거쳐서 가산기(34)로 공급한다. 이어서 가산기(34)는 전달함수( $G(s)$ )를 갖는 회로(240)의 출력( $e_{24}$ )과 일정시간 지연된 제어량( $e_o$ )으로 부터 얻어지는 지연요소(31)의 출력( $e_y$ )의 합을 제어대상(10)으로 공급한다.

본 발명에서 중요한 것은 피드백 제어시스템의 외란( $e_d$ )의 제어대상(10)에 가해진다는 것이다.

제어대상(10)의 제어량 출력( $e_o$ )이 감산기(21)로 네가티브 피드백하고 일정시간 지연후에 출력( $e_{24}$ )을 가함으로써 제어량( $e_o$ )이 유한시간내에 정정된다(이 유한 정정기구는 후술한다)

제1b에 나타낸 시스템은 제1a도의 구성에 미소네가티브 피드백 루프를 구성시킨 것이다. 즉 지연요소(31)의 출력( $e_y$ )은 1이 아닌 전달함수( $H(s)$ )를 갖는 회로를 거쳐서 로컬피드백신호( $e_{32}$ )로 변환된다.

감산기(비교기)(33)에서는 제어량( $e_o$ )과 로컬피드백신호( $e_x$ )간의 차로서 발생된다. 그리고 이 피드백신호( $e_x$ )가 감산기(21)에 네가티브피드백되는 동시에 일정시간 지연후에 출력( $e_{24}$ )에 가해진다.

제1a도 또는 제1b도를 참조하면 제어연산부(20)의 전달함수( $F(s)$ )(= $\Delta e/e_c$ )는 전달함수( $F(s)$ )를 나타내는 식의 분모의 복합 파라미터(s)의 차수( $S_a$ )가 분자의 복합 파라미터(S)의 차수( $S_b$ )와 같거나 이상( $S_a \geq S_b$ )인 고유함수(Proper function)이다.

제어연산부(20)가 비례요소(P)와 적분요소(I)로 구성되면 제어연산부(20)의 전달함수( $F(s)$ )는  $P+I/S=(P_s+I)/S$ 로 되고 분모의 복합 파라미터(S)의 차수(1차)가 분자의 복합 파라미터(S)의 차수와 같다. 이 전달함수( $F(s)$ )는 본 발명의 명세서에서 고유함수인 것으로 가정한다.

제어연산부(20)의 전달함수( $F(s)$ )가  $(P_s+I)/S^2$  라고 하면 분모의 복합파라미터의 차수(2차)가 분자의 복합파라미터(S)의 차수(1차)를 초과한다. 이 전달함수도 본 명세서내의 고유함수이다.

제1a도의 시스템에 응답하여 유한정정이 달성되기 위하여는 회로(240)의 전달함수( $G(s)$ )는 데드타임 또는 지연시간 요소를 갖어야 한다.

또 제1b도의 구성에 의하면 유한정정이 제1b도에 파선으로 표시한 것과 같이 입력( $e_i$ )이 감산기(33)에 가해진 경우에도 달성될 수 있다.

본 명세서에 개시한 본 발명은 제어연산부(20)에서 잠음영향을 쉽게 받은 미분요소를 없애고 제어량( $e_o$ )의 정정시간을 줄일 수 있는 적게 하는 지연요소(31)를 사용하여 구성한 병렬 데이터 처리회로를 추가한다.

상기 본 발명 시스템 구성의 특징을 실시예에 의해서 아래에 설명하겠다.

[실시예 1]

제2도는 제1b도의 시스템구성에 기초를 둔 본 발명의 제1실시예를 나타내고 있다. 이 실시예에서 제어대상(10)은 제13도에 나타낸 실시예와 마찬가지로 적분기에 의해서 주어지고 제어대상(10)은 적분기(11)와 외란( $e_d$ )이 가해지는 가산기(12)에 의해서 주어진다. 제어연산부(20)는 감산기들(21,24)에

의해서 주어진다. 제어연산부(20)는 감산기(21,24), 적분증폭기(22) 및 비례증폭기(23)를 포함하고 이들 모두는 제13도에 나타난 구성요소와 같다. 부호 30은 비례증폭기, 부호31은 지연요소, 부호 32는 적분증폭기, 부호33은 감산기, 부호34는 가산기이고 이들 요소를 제13도의 구성에 추가한 것이다.

제어대상(10)을 위하여 설비된 제어량 검출기(도시치 않음)에 의해서 검출된 제어량(eo)과 적분증폭기(32)의 출력간의 차(ex)가 감산기(33)에 의해서 구해지고 산출된 차(ex)는 감산기(21)에 입력되는 동시에 비례증폭기(23)과 지연요소(31)에도 입력된다.

도면에 나타난 바와 같이 지연요소(31)는 지연(데드)시간의 전달함수( $\epsilon^{-sT_c}$ )를 포함하는 전달함수 [ $K_d(1-\epsilon^{-sT_c})$ ]를 갖으며 이 지연요소(31)에서의 출력(ey)은 지연요소에 가해지는 입력 "1"과 지연시간(Tc)만큼 지연된 입력(후자의 입력은 Tc시간만큼 과거의 입력( $\epsilon^{-sT_c}$ )이다)간의 차가 비례계인 (Kd)만큼 증폭된 값이다. 지연시간(Tc)은 제어량(eo)을 정정하는데 소요되는 시간과 같게 선정된다.

이 지연요소(31)의 출력(ey)은 적분기(32)로 입력되는 한편 제어연산부(20)는 지연요소(31)와 적분증폭기(32)로 구성시킨 루프를 갖고 있다.

제어량지령치(ei)는 비례증폭기(30)에 의해서 비례계인(Ka)만큼 증폭된다. 이 비례증폭기(30)의 출력(e30)은 감산기(21)로 입력되어 감산기(33)의 출력(ex)과 출력(e30)간의 차( $\Delta e$ )가 구해진다. 구해진 차( $\Delta e$ )는 적분계인(Ki)을 갖는 적분증폭기(22)에 의해 증폭되어 그의 출력(e22)으로 부터 비례증폭기(23)에 의해서 비례계인(Kp)만큼 증폭된 차신호(ex)의 값을 감산기(24)에 의해서 감산된다. 또, 지연요소(31)의 출력(ey)이 가산기(34)에 의해 상기 감산 결과에 가산되어 조작량지령치(ec)가 산출된다. 제어대상(10)은 산출된 조작량지령치(ec)에 따라 동작된다.

제어량지령치(ei)에 대한 제어량(eo)의 전달함수인 지령치 전달함수(Gc(s))를 구하면 하기식(15)이 된다.

$$G_c(s) = \frac{e_o(s)}{e_i(s)} = K_a \frac{\frac{K_i}{s^2}}{1 + \frac{K_p + \frac{K_i}{s} K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}{s + K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}} = \frac{K_a K_i (s + K_d (1 - \epsilon^{-sT_c}))}{s(s^2 + K_p s + K_i)} \dots (15)$$

외란(ed)에 대한 제어량(eo)의 전달함수인 외란전달함수(Gd(s))를 구하면 하기식(16)이 된다.

$$G_d(s) = \frac{e_o(s)}{e_d(s)} = \frac{\frac{1}{s}}{1 + \frac{K_p + \frac{K_i}{s} K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}{s + K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}} = \frac{s + K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}{s(s^2 + K_p s + K_i)} \dots (16)$$

식(15)와 식(16)을 비교하면 식(17)의 관계가 성립된다.

$$G_c(s) = G_d(s) \frac{K_a K_i}{s} \dots (17)$$

즉, 제어량지령치(ei)에 대한 제어량(eo)의 시간응답은 제어대상이 제어연산부와 같은 함수의 외란(ed)이 가해진 경우에 제어량(eo)의 시간응답을 시간적분하여 계수(KaKi)배하여 산출할 수 있다. 따라서 외란에 대한 시간응답이 지연시간(Tc)이후 실행될 수 있으면 제어량지령치에 대한 시간응답도 지연시간(Tc)이후는 변화되지 않으므로 외란에 대한 시간응답과 제어량지령치에 대한 시간응답 모두가 유한한 지연시간(Tc)내로 정정될 수 있다.

외란(ed(s))이 단위스텝함수(1/s)라고 하면 제어량(eo(s))은 하기식(18)으로 된다.

$$e_o(s) = G_d(s) \frac{1}{s} = \frac{s + K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}{s(s^2 + K_p s + K_i)} = \frac{1}{s^2 + K_p s + K_i} + \frac{K_d (1 - \epsilon^{-sT_c})}{s(s^2 + K_p s + K_i)} \dots (18)$$

다음 시간응답(eo(t))은 역라플라스변환에 의해서 구한다.  $0 \leq t \leq T_c$ 의 관계일 때에는 항( $\epsilon^{-sT_c}$ )은 역라플라스변환에 의해 0으로 되는 것을 고려하면 하기식(19)이 되는 한편  $t > T_c$ 이면 식(20)이 된다.

즉  $0 \leq t \leq T_c$ 관계일 때에는

$$e_o(t) = \epsilon^{-\frac{K_p t}{2}} \left\{ \frac{1}{\omega} \sin \omega t - \frac{K_d}{K_i} \cos \omega t - \frac{K_p K_d}{2K_i} \sin \omega t \right\} + \frac{K_d}{K_i} \dots (19)$$

단

$$\omega = \sqrt{K_i - \frac{K_p^2}{4}}$$

한편,  $t > T_c$ 인 관계일 때에는

$$e_o(t) = \epsilon \frac{K_p t}{2} \left\{ \frac{1}{\omega} \sin \omega t - \frac{K_d}{K_i} \cos \omega t - \frac{K_p K_d}{2 K_i \omega} \sin \omega t \right\} + \frac{K_d}{K_i} \epsilon - \frac{K_p}{2} (t - T_c) \left\{ -\frac{K_d}{K_i} \cos \omega (t - T_c) - \frac{K_p K_d}{2 K_i \omega} \sin \omega (t - T_c) \right\} + \frac{K_d}{K_i} \epsilon - \frac{K_p t}{2} (\alpha \sin \omega t + \beta \cos \omega t) \dots\dots\dots (20)$$

단,

$$\alpha = \frac{1}{\omega} \frac{K_p K_d}{2 K_i \omega} + \frac{K_d}{K_i} \epsilon \frac{K_p T_c}{2} \sin \omega T_c + \frac{K_p K_d}{2 K_i \omega} \epsilon \frac{K_p T_c}{2} \cos \omega T_c$$

$$\beta = \frac{K_d}{K_i} + \frac{K_d}{K_i} \epsilon \frac{K_p T_c}{2} \cos \omega T_c + \frac{K_p K_d}{2 K_i \omega} \epsilon \frac{K_p T_c}{2} \sin \omega T_c$$

식(20)의 시간응답( $e_o(t)$ )의 우변 괄호내의  $\sin \omega t$ 의 계수( $\alpha$ )와  $\cos \omega t$ 의 계수( $\beta$ )가 모두 0이 되게 파라미터들( $K_p, K_d, K_i$  및  $T_c$ )을 조정하면  $t > T_c$ 의 관계하에 시간응답( $e_o(t)$ )은 상시 0이 된다. 즉 외란( $ed$ )의 스텝상 변화에 대해서 제어량( $e_o$ )은 지연시간( $T_c$ )까지는 외란에 대응한 식(19)로 주어지는 시간응답( $e_o(t)$ )을 나타내지만 지연시간( $T_c$ )이후에는 외란에 대응한 시간응답은 0이 되어 지연요소(31)의 지연시간( $T_c$ )과 같은 유한시간내로 정정된다.

또 제어량지령치( $e_i$ )가 단위 스텝함수에 따라서 변화된 경우에 제어량( $e_o$ )의 시간응답도 식(17)의 관계에 의해서 지연시각( $T_c$ )까지 변화가 종료되고 그후(지연시간( $T_c$ )이후)는 지연시간( $T_c$ )에서의 값을 유지하게 되므로 따라서 제어량( $e_o$ )의 시간응답 역시 유한시간내로 정정된다.

식(15)에 나타난 지령치전달함수( $G_c(s)$ )중에서 제어지령치( $e_i$ )에 단위스텝함수( $1/s$ )가 입력된 경우의 제어량( $e_o$ )의 정정치를 최종치 정리를 사용하여 구하면 하기식(21)이 된다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_o(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot K_a K_i \left\{ \frac{s + K_d(1 - \epsilon^{-sT_c})}{s(s^2 + K_p s + K_i)} \right\} \cdot \frac{1}{s}$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} K_a K_i \frac{1 + K_d(1 - \epsilon^{-sT_c})}{s^2 + K_p s + K_i}$$

$$= K_a(1 + K_d T_c) \dots\dots\dots (21)$$

따라서  $K_a$ 를 하기식(22)의 관계에 맞게 하면 제어량지령치에 대해서 제어량을 같게 제어할 수 있다.

$$K_a = (1 + K_d T_c)^{-1} \dots\dots\dots (22)$$

식(20)의 우변 괄호내의  $\sin \omega t$ 의 계수( $\alpha$ )와  $\cos \omega t$ 의 계수( $\beta$ )를 모두 0으로 하는 비례게인( $K_p$ ), 적분게인( $K_i$ ), 지연시간( $T_c$ ), 지연요소의 게인( $K_d$ )의 조정치는 무한으로 존재한다. 제어량을 정정시키고자 하는 시간을 1초로 하고 지연시간( $T_c$ )을 이와 같은 1초로 하고 비례게인( $K_p$ )을 제18도에 나타난 샘플치계제어의 비례게인과 같은 값인 2로 한 경우의 각 조정치들( $K_d, K_i, K_a$ )의 일례를 아래에 나타냈다.

$T_c=1$ 초,  $K_p=2$ 에 있어서,

$K_d=1.820025154$

$K_i=24.8037447$

$K_a=(1+K_d T_c)^{-1}=0.354606766$

제3도는 본 발명의 제1실시예의 상기 각 계인을 갖는 조정치의 응답파형을 나타내고 있다. 시간  $t=0$ 초에 제어량지령치( $e_i$ )가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화하고 시각  $t=5$ 초에 외란( $ed$ )이 0으로부터 -1로 변화된 경우의 제어량( $e_o(t)$ )과 조작량지령치( $e_c(t)$ )의 파형이다. 여기서 제어량 정정시간은 제어량지령치( $e_i$ )와 외란( $ed$ )의 변화에 대해서 지연시간( $T_c$ )과 동일한 1초로 선택됐다.

제4도는 제어대상, 즉 단위게인을 갖는 적분기가  $1/s$ 로 부터  $1.25/s$ 로 25% 변화된 역라플라스변환의 파라미터를 갖는 경우의 응답파형을 나타내고 있다. 제4도의 응답파형들을 측정하는 조건은 제3도에 나타난 응답파형 측정조건과 같다. 샘플치계제어에서의 유한정정제어의 경우에 제18도로부터 제19도로의 제어응답의 변화에 비해서 본 발명의 제1실시예가 겪는 악화정도가 적고 연속치계제어로서 파라미터의 변화에 강한 특징이 변화되지 않는다.

이상 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예에 의하면 연속치계제어는 제어량지령치와 외란에 대한 응답을 유한시간내에 정정시킬 수 있다.

따라서 이 실시예는 원활한 성능과 제어시스템 파라미터 변화에 강한 연속치계제어의 특징과 샘플치계제어에서 얻을 수 있는 제어량을 유한시간내에 정정시킬 수 있는 특징을 갖는 제어를 행할 수 있다.

[실시예 2]

제5도는 본 발명의 제2실시예의 시스템 구성을 나타내고 있다. 제2도에 나타난 제1실시예는 연속치 제어의 예이고 한편 제5도에 나타난 제2실시예는 샘플치제어의 예이다.

이 실시예에 있어서의 제어대상(10)은 외란(ed)이 가해지는 가산기(12)와 적분기(11)를 포함하는 시스템 구성에 관한 것이다.

제어연산부(20)는 샘플치제어를 하기 위하여 제어량지령치(ei)나 피드백 신호인 제어량(eo)의 샘플신호를 제공하는 샘플러들(25,26), 감산기들(21,24), 적분증폭기(27), 비례증폭기(28) 및 샘플홀더(29)를 포함하고 있다. 제2실시예의 시스템 구성은 샘플치제어의 일례로서 제16도에 나타난 것과 같은 구성이다.

본 발명의 제2실시예에서는 비례증폭기(35), 지연요소(36), 적분증폭기(37), 감산기(38), 및 가산기(39)가 새로 추가되어 있다.

제어량검출기(도시치 않음)에 의해서 검출된 제어량(eo)과 적분증폭기(37)의 출력(e37)과의 차(ex)가 감산기(38)에 의해서 산출된다. 산출된 차(ex)는 감산기(21)로 입력되는 동시에 비례증폭기(29)와 지연요소(36)로도 입력된다. 도면에 나타난 바와 같이 지연요소(36)는 샘플링주기(T)의 n배(n은 정수)의 지연(데드타임)시간 성분을 나타내는 펄스전달함수( $Z^{-n}$ )를 포함하는 전달함수  $[Kd(1-Z^{-n})]$ 를 유지하고 지연요소(36)의 출력(ey)은 출력(ey)에 대응하는 입력과 지연시간(nT)만큼 지연된 입력간의 차가 비례게인(Kd)만큼 증폭된 값이다. 지연시간(nT)은 제어량을 정정시키고자 하는 시간과 같게 선정된다.

지연요소(36)의 출력(ey)은 적분증폭기(37)와 감산기(38)를 거쳐서 그의 입력으로 네가티브 피드백되어 제어연산부(20)내에 지연요소(36)와 적분증폭기(37)로 구성되는 루프가 형성되어 있다.

제어량지령치(ei)는 비례증폭기(35)에 의해서 비례게인(Ka)만큼 증폭된다. 이 비례증폭기(35)의 출력은 감산기(21)로 입력되어 출력(e35)과 감산기(38)의 출력(ex)간의 차( $\Delta e$ )가 구해진다. 또 적분게인(Ki)을 갖는 적분증폭기(27)에 의해서 적분증폭된다. 이 적분증폭기(27)의 출력으로부터 비례증폭기(28)에 의해서 비례게인(Kp)만큼 증폭된 차신호(ex)의 값이 감산기(24)에 의해서 감산된다. 상기 감산결과 얻어진 출력(e24)은 가산기(39)에 의해서 지연요소(36)의 출력과 가산된다. 이 가산결과(e39)가 샘플홀더(29)로 입력되고 샘플치를 연산한 시간적으로 간격을 둔 간헐치가 일련의 신호로 변형되어 조작량지령치(ec)로서 출력된다.

이 조작량지령치(ec)에 따라 제어대상(10)이 조작된다.

상술한 제2실시예의 시스템구성은 본 발명의 제1실시예의 다른 시스템 구성으로서 제1실시예와 같이 비례게인(Kp), 적분게인(Ki) 지연시간(nT) 및 지연요소의 게인(Kd)을 조정함으로써 유한정정을 할 수 있게 한 것이다. 정정시키고자 하는 시간을 1초로 하고, 지연시간(nT)을 이것과 같은 1초로 하기 위하여 샘플링주기(T)를 0.1초, n=10으로 선정하고 비례게인(Kp)은 제1실시예와 같은 값의 2로 한 경우의 각 조정치의 일례를 아래에 나타냈다.

$$Kd=1.304976237$$

$$Ki=19.28352216$$

$$Ka=(1+Kd \cdot nT)^{-1}=0.4338439521$$

제6도는 제2실시예에 있어서 파라미터들(Kd, Ki 및 Ka)를 상기와 같이 선정했을 때의 각 응답파형을 나타내고 있다. 시각 t=0초에 제어량지령치(ei)가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화되고 시각 t=5초에 외란(ed)이 0으로부터 -1로 변화된 경우에 제어량(eo(t))과 조작량 지령치(ec(t))의 파형이다.

이 경우에 제어량지령치(ei)의 변화에 대해서 9회의 샘플링주기((n-1)T)와 같은 0.9초 이내에 정정하고 외란(ed)의 변화에 대해서 10회의 샘플링주기(nT)와 같은 1초내에 정정하고 있다.

제7도는 제어대상인 단위게인을 갖는 적분기가 1/s로 부터 1.25/s로 25% 변화된 역라플라스 변환의 파라미터를 갖는 경우의 응답파형을 나타내고 있다. 제7도의 응답파형의 측정조건은 제6도에 나타난 응답파형의 측정조건과 같다. 이들 응답파형을 참조하면 제1실시예와 거의 같은 경향을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

이상 설명한 바와 같이 본 발명의 제2실시예에 의하면 샘플치제어에 있어서 제어량지령치, 외란에 대한 응답을 유한시간내에 정정시키면서 원활하고 제어시스템의 파라미터 변화에 강한 연속치제어의 특징을 겸해서 갖는 제어를 실현시킬 수 있다.

[실시예 3]

제8도는 본 발명의 제3실시예의 시스템 구성을 나타내고 있다. 제1 및 제2실시예에 각각 제공되는 제어대상(10)은 그 시스템을 적분기(11)만으로 나타내는 구성이었지만 제3실시예에서의 제어대상(10)은 제1지연요소(13)와 적분기(11)로 구성되어 있다. 그와 같은 시스템에 대응하는 제3실시예의 제어대상(10)은 모터의 속도제어를 위한 모터전류제어 모니터 루프를 포함하고 있다. 조작량지령치에 따라서 1차지연으로 모터전류제어가 행해진다.

부호 10은 제어대상을 가리키고 적분기(11), 외란(ed)에 가해지는 가산기(12)와 1차 지연요소(13)로 구성된다. 1차 지연요소(13)의 차단각주파수는  $\omega_{cc}$ 이다. 제어연산부(20)는 감산기들(21,24,33), 가산기(34), 적분증폭기들(22,32), 비례증폭기들 및 지연요소(31)로 구성되어 있고, 이 시스템구성은 제1실시예의 시스템 구성과 같다. 부호 40은 비례증폭기, 부호 41은 가산기, 부호 42는 1차 지연요소로서 이들 모두는 제3실시예를 구성시키기 위하여 제1실시예에 새롭게 추가된 요소들이다.

제어량 검출기(도시치 없음)에 의해서 검출된 제어량(eo)과 적분증폭기(32)의 출력(e32)간의 차가 감산기(33)에서 구해진다. 이 차(ex)는 감산기(21)에 입력되는 동시에 비례증폭기(23)와 지연요소(31)도 입력된다.

지연요소(31)는 도면에 나타난 바와 같이 전달함수  $[Kd(1-\epsilon^{-sT_c})]$ 에 포함된 지연(데드)시간 전달함수  $(\epsilon^{-sT_c})$ 를 갖고 지연요소(31)의 출력(ey)은 출력(ey)에 대응하는 입력과 지연시간(Tc)만큼 지연된 입력간의 차가 비례계인(Kd)만큼 증폭된 값이다. 지연시간(Tc)은 제어량을 정정시키고자 하는 시간과 같은 시간으로 선정된다.

지연요소(31)의 출력(ey)은 제어대상(10)에 포함되는 1차 지연요소(13)에 가능한한 같게 조정된 1차 지연요소(42)를 거쳐서 적분증폭기(32)로 입력된다. 제어연산부(20)중에 지연요소(31)와 1차 지연요소(42)와 적분증폭기(32)로 루프가 형성되어 있다.

제어량지령치(ei)는 비례증폭기(30)에 위해서 비례계인(Ka)만큼 증폭된다. 이 비례증폭기(30)의 출력(e30)은 감산기(21)로 입력되고 감산기(33)의 출력(ex)과 출력(e30)간의 차( $\Delta e$ )가 산출된다. 또 적분계인 Ki인 적분증폭기(22)에 의해서 이 차( $\Delta e$ )가 적분 증폭된다.

비례증폭기(30)의 출력(e30)은 비례증폭기(40)에도 입력되어 그 출력은 비례계인 (Kd)만큼 증폭된다. 적분증폭기(22)의 출력(e22)과 비례증폭기(40)의 출력(e40)은 가산기(41)에 의해서 가산되고 이 가산기(41)의 가산신호로 부터 비례증폭기(23)에 의해서 비례계인(Kp)만큼 증폭된 차신호(ex)의 값이 감산기(24)에 의해서 감산되고, 또, 감산기(24)의 출력(e24)은 지연요소(31)의 출력(ey)에 가산기(34)에 의해 가산되어 조작량지령치(ec)가 구해진다. 제어대상(10)은 상기 산출된 조작량 지령치(ec)에 따라서 조작된다.

상세한 설명은 생략하지만 이상 설명한 시스템구성과 같이 제어대상을 1차 지연요소(13)와 적분기(11)로 나타난 경우에도 제어대상(10)을 적분기(11)만으로 나타난 경우와 같이 유한정정제어를 할 수 있다.

제9도는 제3실시에에서 얻어진 응답파형들을 나타내고 있다. 이들 응답파형들은 제어연산부(20)의 제1지연요소(42)의 차단각주파수( $wcc^*$ )를 제어대상(10)의 일차 지연요소의 차단각주파수(wcc)를 10rad/s로 설정한 것과 같게 조정했을때 얻어진 것이다.

또 제9도의 응답파형들은 시각 t=0초에서 제어량지령치(ei)가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화되고 시각 t=5초에서 외란(ed)이 0으로부터 -1로 변화될 경우의 제어량(eo(t))과 조작량지령치(eo(t))의 파형이다. 이들 응답파형들은 제어지령치(ei)와 외란(ed)의 변화에 대해서 지연시간(Tc)가 동일한 1초 간에 정정됨을 나타내고 있다.

제5도에 나타난 제2실시에에서와 같이 제8도에 나타난 제3실시에는 샘플치계 제어에 사용되도록 개변시킬 수 있다.

[제4실시에]

제10도는 본 발명의 제4실시예의 시스템구성을 나타내고 있다. 제1,2실시에에서는 공히 제어대상(10)을 적분기(11)만으로 나타난 구성이지만 제4실시에에서는 제어대상(10)을 직렬접속된 데드타임 요소(14)와 적분기(11)로 나타난 구성이다. 여기서 제어대상(10)은 물탱크의 수위제어에 있어서 물의 유량을 가감하는 유량제어밸브에 데드타임이 있는 경우에 대응하고 있다.

부호 10은 제어대상으로 적분기(11), 외란(ed)가 가해지는 가산기(12)와 데드타임요소(14)로 구성된다. 데드타임요소(14)는 Td이다. 제어연산부(20)는 감산기들(21,24,33), 가산기(34), 적분증폭기들(22,23), 비례증폭기들(23,30) 및 지연요소(31)로 구성되고 이 시스템구성은 제2도에 나타난 제1실시예의 구성과 같다. 단 지연요소(31)의 지연시간은 제 1실시예의 것과 다르다. 부호 43은 적분증폭기, 부호 44는 비례증폭기, 부호45는 가산기, 부호들 46과 47은 지연요소들, 부호 48은 가산기로서 이들 모두는 제1실시예의 구성에 새로 추가된 요소들이다.

제어량검출기(도시치 없음)에 의해서 검출된 제어량과 적분증폭기(32)의 출력(e32)간의 차(ex)는 감산기(33)로 구할 수 있다. 산출된 차(ex)는 감산기(21)에 입력되는 동시에 비례증폭기(23)과 지연요소들(31,46)에도 입력된다.

도면에 나타난 바와 같이 지연요소(31)는 제어대상(10)의 데드타임(Td)가 가능한한 같게 조종된 데드타임의 전달함수  $(\epsilon^{-sT_d^*})$ 를 포함하는 전달함수  $(1-\epsilon^{-sT_d^*})$ 를 갖는다. 지연요소(31)의 출력(e31)은 그에 입력된 입력과 지연시간(Td)만큼 지연된 입력과의 차이다. 지연요소(31)의 출력(e31)은 적분증폭기(22)와 같은 적분계인(Ki)를 갖는 적분증폭기(43)에 의해서 적분되는 동시에 비례증폭기(23)와 같은 비례계인(Kp)를 갖는 비례증폭기(44)에 의해서 비례증폭되고 이 적분증폭기(43)의 출력(e43)과 비례증폭기(44)의 출력(e44)이 가산기(45)에 의해서 가산되어 합산신호(ez)가 발생된다. 한편 도면에 나타난 바와 같이 지연(데드)시간 전달함수  $(\epsilon^{-s(T_c-T_d^*)})$ 를 포함하는 전달함수  $[Kc \epsilon^{-s(T_c-T_d^*)}]$ 를 갖고 지연요소(46)의 출력(ey)은 지연요소(46)에 입력된 Tc-Td\* 만큼 지연된 차신호(ex)의 비례계인(kc)만큼 증폭된 값이다. 시간(Tc)은 제어대상의 제어량을 상기 시간내에 정정되게 선정된다.

지연요소(46)의 출력(ey)은 지연요소(47)에도 입력된다. 도면에 나타난 바와 같이 지연요소(47)는 지연(데드)시간 전달함수  $(\epsilon^{-sT_d^*})$ 를 갖는 한편 지연요소(46)의 출력(ey)은 Td\* 만큼 지연된다. 지연요소(46)와 지연요소(47)의 각각의 출력을 합산하면 지연요소(47)의 출력은 차신호(ex)가 지연시간(Tc)만큼 지연된 신호(ex)의 값에 비례하게 된다.

합산신호(ez)와 출력(e47)와의 합산치(e48)가 가산기(48)에 의해서 구해지고, 적분증폭기(32)로 입력된다. 제어연산부(20)에는 지연요소(31), 적분증폭기(43), 비례증폭기(44), 지연요소들(46,47) 및

적분증폭기(32)로 루프를 형성하고 있다.

제어량지령치( $e_i$ )는 비례증폭기(30)에 의해서 비례게인( $K_a$ )만큼 증폭된다. 비례증폭기(30)의 출력( $e_{30}$ )은 출력( $e_{30}$ )과 감산기(33)의 출력( $e_x$ )과의 차( $\Delta e$ )를 산출하는 감산기(21)로 입력된다. 구해진 차( $\Delta e$ )는 적분증폭기(22)에 의해서 적분증폭된다. 출력( $e_{22}$ )과 출력( $e_{23}$ )으로 부터 비례증폭기(23)의 비례게인( $K_p$ )만큼 증폭된 차신호( $e_x$ )의 값이 감산기(24)에 의해서 감산되고, 이 감산결과( $e_{24}$ )와 지연요소(46)의 출력( $e_y$ )이 가산기(34)에 의해서 가산되어 조작량지령치( $e_c$ )가 제공된다. 산출된 조작량지령치( $e_c$ )에 따라 제어대상(10)이 조작된다.

상기 시스템구성으로 제어대상이 데드타임요소를 포함하는 경우에도 유한정정제어가 가능하다.

제11도는 제4실시에의 응답파형들을 나타내고 있다. 더 상세히 말하면 제어대상(10)의 데드타임요소( $T_d$ )를 0.1초로 설정하고 제어연산부(20)내의 데드타임요소들(31,46,47)의 데드타임( $T_d^*$ )을  $T_d$ 와 같게 조정했다. 즉 시각  $t=0$ 초에 제어량지령치( $e_i$ )가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화되고 시각  $t=5$ 초에 외란( $e_d$ )이 0으로부터 -1로 변화된 경우의 제어량( $e_o(t)$ )과 조작량지령치( $e_c(t)$ )의 파형이다. 또 제어량지령치( $e_i$ )의 변화에 대해서는 제어량( $e_o$ )은  $T_c+T_d$ 와 같은 1.1초 정정되고 한편 외란( $e_d$ )의 변화에 대해서는 지연시간( $T_c$ )과 같은 1초간에 정정되고 있다.

제10도에 나타난 제4실시에에서 제어대상(10)은 데드타임을 포함하고 있다. 제어연산부(20)가 연산지연 시간을 갖는 경우 및/또는 제어량검출기(도시치 않음)가 그 검출에 지연시간을 포함하는 경우에 대해서도 제어연산부의 데드타임요소에 포함되는 시간( $T_d^*$ )을 이들의 데드타임과 지연시간의 합계와 가능한한 같게 조정하면 제 1~4실시에와 같이 유한정정을 할 수 있다.

제10도를 참조하면 제어대상(10)의 데드타임요소(14)가 제어연산부(20)의 연산지연시간으로서 존재하더라도 전체 제어시스템을 고려하면 연산지연시간은 무시할 수 있다. 이점에서 제어대상(10)의 데드타임에 상관없이 마찬가지로 유한정정을 실현시킬 수 있는 것이 명백하다.

제어량검출기(도시치 않음)가 검출 지연시간을 포함하고 있는 경우에는 제어대상(10)의 데드타임요소(14)를 적분기(11)의 출력과 제어연산부(20)의 감산기(33)와 사이로 이동시킨 시스템 구성으로 된다. 이 제어시스템은 제10도에 나타난 제어시스템과 기본적으로 같다고 생각해도 좋다. 따라서 제어량 검출기가 검출시에 지연시간을 갖는 제어시스템으로도 유한정정이 가능한 것이다.

제12도는 제 4실시에내에 있는 것과 같은 제어연산부가 적용되고 제어량검출기(도시치 않음)의 검출지연시간( $T_d$ )을 0.1초로 설정하고 제어대상(10)을 적분기(11)로만 나타내지는 구성으로 한 실시예의 응답파형을 나타내고 있다. 시각  $t=0$ 초에 제어량지령치( $e_i$ )가 0으로부터 1로 스텝상으로 변화되고 시각  $t=5$ 초에 외란( $e_d$ )이 0으로부터 -1로 변화된 경우에 제어량( $e_o(t)$ )과 조작량지령치( $e_c(t)$ )의 응답파형이다. 제어량 지령치( $e_i$ )와 외란( $e_d$ )의 변화에 대해서 제어량( $e_o(t)$ )은  $T_c$ 와 같은 1초간에 정정된다. 제12도의 응답파형들은 제11도의 응답파형들과는 제어량지령치에 대한 응답이 전자가 후자보다 0.1초 빠르다는 점만 다르다.

따라서 연산지연시간, 제어대상의 데드타임 및 제어량 검출기의 검출지연시간 등이 공존하는 경우에도 원하는 정정시간과 연산지연시간 뿐만 아니라 함께 조합된 검출지연시간으로 지연시간( $T_c$ )과 데드타임( $T_d^*$ )을 조정하면 동일 제어연산부(20)를 적용시킬 수 있다.

또한 제2실시에에서와 같이 제4실시에도 샘플치계제어에 적용시킬 수 있다.

비례증폭기, 적분증폭기, 제1차 지연요소, 가산기, 감산기들은 종래에 피드백 제어시스템으로 사용되고 있는 연산증폭기나 마이크로컴퓨터등의 수단으로 용이하게 실현시킬 수 있고 상기 지연요소는 연속치계제어에 관한한 전기적인 전파 지연 특성을 이용한 동축케이블로 대치 사용할 수 있는 한편 샘플치계제어에서는 쉬프트 레지스터 또는 메모리를 이용하여 실현시킬 수 있다.

이상 본 발명의 실시예들을 명세서에서 설명하였으나 본 발명은 다른 제어대상에 대해서도 같은 유한정정제어가 가능하고 또 동일 제어대상에 대해서도 상기 실시예들에 나타난 구성만이 아닌 여러가지 구성으로 유한정정제어가 가능하다.

이상 설명한 바와 같이 피드백 제어장치의 제어연산부에 원하는 정정시간을 정하는 한 지연요소를 구성요소로 가한 본 발명에 의하면 종래에는 샘플치계제어만으로 가능했었던 유한정정제어가 연속치계제어로도 가능해지고 이론적으로 무한시간이 걸리는 정정시간을 유한시간으로 할 수 있고 실용적인 의미에서의 유한정정시간을 극히 짧게 할 수 있다.

본 발명을 샘플치계제어에 적용시키면 선택적인 복수의 샘플링 기간과 동일 기간내에 정정시키는 제어를 실현시킬 수 있고, 또 연속치계제어의 특징인 원활한 성능으로 잡음에 의한 악영향에 강하고 파라미터의 변화에 대해서 강한 제어를 실현시킬 수 있다. 따라서 본 발명은 피드백 제어를 행하는 넓은 분야의 각종 제어장치에 적용시킬 수 있고 무한한 실용성이 기대된다.

다음 문헌은 본 발명의 원리를 공개하고 있다.

Otto J.M Smith "Feedback Control Systems" McGraw-Hill Book Co. ,Inc. , 1985, pp 341~345, 상기 문헌에 개시된 모든 것은 본 명세서에 포함되어 있다.

상기 문헌의 제10~29(e)도 (342면)에 본 발명의 실시예에 나타난 것과 유사한 시스템구성을 나타내고 있다.

본 발명의 시스템구성이 상기 문헌의 시스템과 유사하지만 다른 것이다. 더 구체적으로 말하면 상기 문헌의 제10~29(e)도중의 블록(p)은 본 명세서에 기재된 시간요소(31)에 상당하는 것이지만 이 블록은 미분요소를 포함하고 있어서 잡음으로 인한 악영향을 받는다.

따라서 거의 실용화될 수 없다.

또 상기 문헌에 있는 시스템 구성은 전달함수( $G_1, G_2$  및  $F$ )대신에 각각의 역전달함수( $1/G_1, 1/G_2$  및  $1/F$ )를 필요로 하지만 본 명세서내의 실시예들중의 제어연산부(20)는 그와같은 역전달함수를 필요로 하지 않는다.

당 기술분야에서 숙련된 자는 그밖의 이점들과 개변을 용이하게 할 수 있으므로 본 발명은 넓은 관점에서 특정 설명이나 여기에 나타낸 장치에 한정되지 않고 첨부된 청구범위에 한정된 발명의 총괄적 개념의 요지와 범위를 일탈함이 없이 각종 개변이 가능한 것이다.

**(57) 청구의 범위**

**청구항 1**

조작량지령치( $e_i$ )에 따라서 제어대상(10)을 조작하는 피드백 시스템에 있어서 상기 제어대상(10)에 대한 제어량( $e_o$ )을 검출하는 수단(100)과 : 상기 제어량( $e_o$ )과 상기 조작량지령치( $e_i$ )간의 차( $\Delta e$ )를 나타내는 제어출력( $e_c$ )에 따라서 상기 제어대상(10)에 대한 제어량( $e_o$ )을 제어하되 제어량( $e_o$ )이 조작량지령치( $e_i$ )와 같도록 제어하고 또한 변수로서 복합 파라미터(5)를 포함하되 분모의 복합 파라미터( $s$ )의 차수가 분자의 복합 파라미터( $s$ )의 차수와 같거나 그 이상인 전달함수( $F(s)$ )를 갖는 제어수단(21,240)과 상기 제어량( $e_o$ )을 소정시간( $T_c$ )만큼 지연시켜 얻은 지연신호( $e_y$ )와 상기 제어출력( $e_c$ )을 포함하는 수단(31,34)을 조합하는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 2**

제1항에 있어서 상기 제어수단(240,22,23)(제2도중)이 비례요소( $K_p$ )와 적분요소( $K_i/s$ )의 적어도 하나로 구성되는 것을 특징으로 하는 피드백 제어시스템

**청구항 3**

제1항에 있어서, 상기 조합수단(31,34)이 미분요소가 아닌 요소를 포함하는 전달함수를 갖는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템

**청구항 4**

제1항에 있어서, 상기 소정시간( $T_c$ )이 상기 제어대상(10)의 제어량에 대해서 조작량지령치( $e_i$ )의 변화에 따르도록 하는데 필요한 시간인 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 5**

제1항에 있어서, 상기 소정지연시간( $T_c$ )이 상기 제어대상(10)에 가해진 외란( $e_d$ )으로 인하여 변환된 제어량( $e_o$ )을 조작량지령치( $e_i$ )로 복귀시키는데 필요한 시간인 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 6**

제1항에 있어서, 상기 소정지연시간( $T_c$ )이 상기 제어수단(240)에 의하여 행해지는 제어를 달성하는데 필요한 시간임을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 7**

제1항에 있어서, 상기 소정지연시간( $T_c$ )이 상기 제어출력( $e_c$ )에 대한 상기 제어대상(10)의 출력에 따른 지연( $\varepsilon^{-ST_d^*}$ )에 대응하는 시간을 포함하는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 8**

제7항에 있어서, 상기 소정지연시간( $T_c$ )이 상기 제어출력( $e_c$ )에 대하여 상기 제어량( $e_o$ )에 따른 지연에 대응하는 시간을 포함하는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 9**

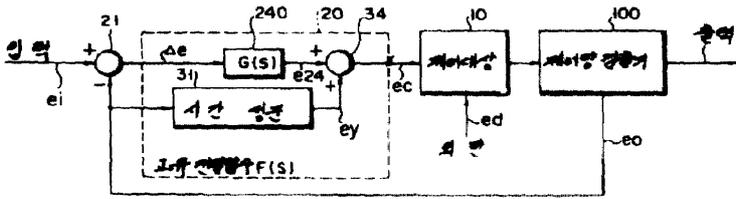
제1항에 있어서, 상기 소정지연시간( $T_c$ )은 상기 제어수단(240)이 상기 조작량지령치( $e_i$ )를 샘플링하여 얻어지는 신호( $e_{35}$ )에 따라서 상기 제어출력( $e_c$ )을 제공하는 샘플치계제어의 구성을 포함하는 경우에 신호( $e_{35}$ )를 샘플링하는 주기에 대응하는 시간을 포함하는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**청구항 10**

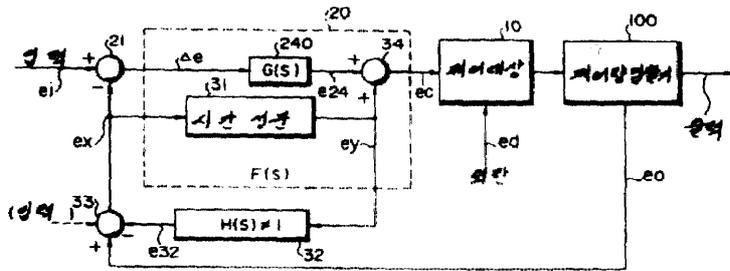
제1항에 있어서 상기 지연신호( $e_y$ )를 차신호( $e_{32}$ )로 변환하는 수단(32)과, 상기 제어량( $e_o$ ) 대신에 상기 제어량( $e_o$ )과 상기 차신호( $e_{32}$ )간의 차( $e_x$ )를 상기 조합수단(31,34)으로 공급하는 감산수단(33)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 피드백 제어 시스템.

**도면**

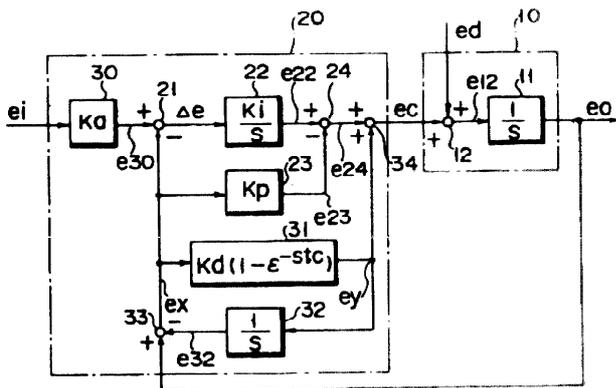
도면 1A



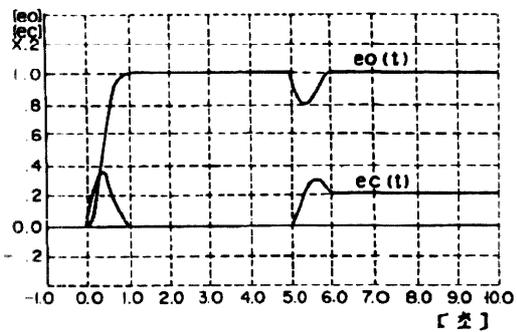
도면 1B



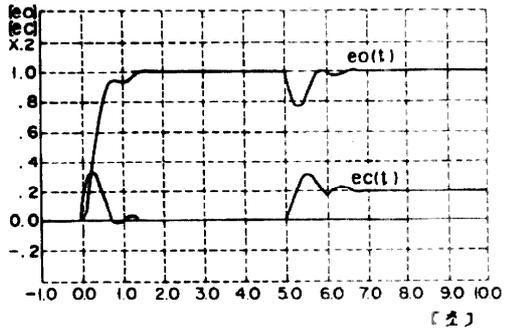
도면 2



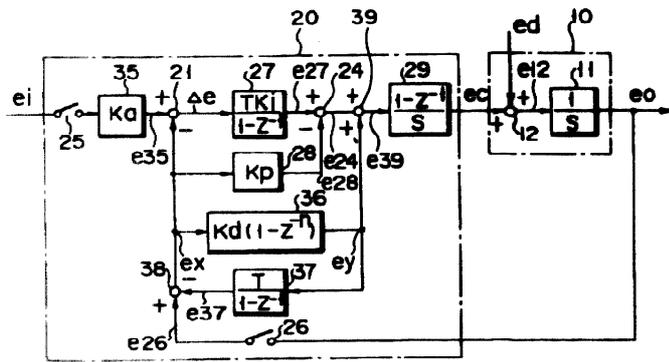
도면 3



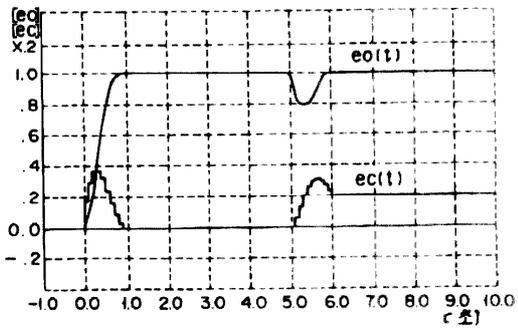
도면4



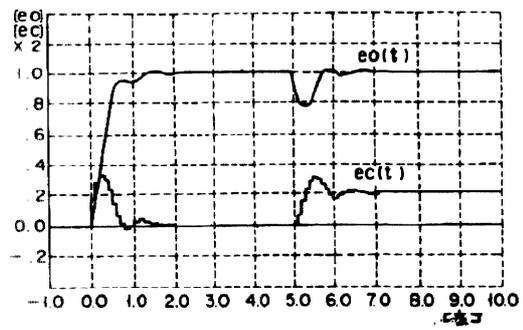
도면5



도면6

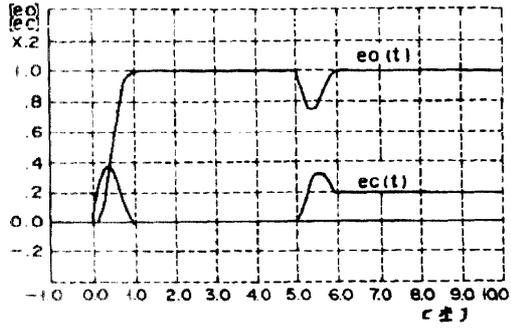


도면7

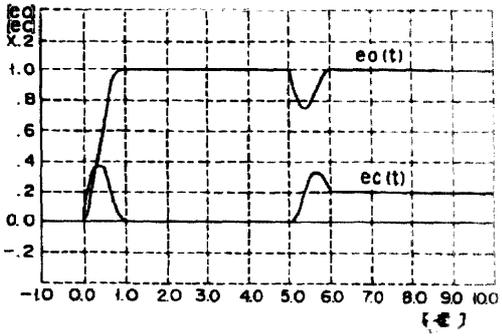




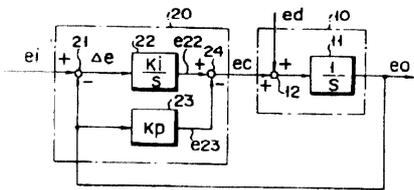
도면11



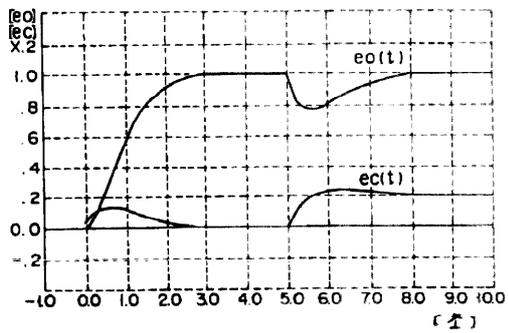
도면12



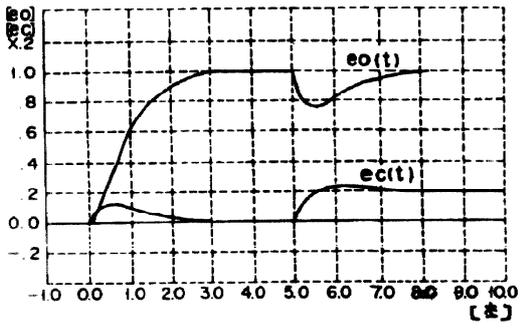
도면13



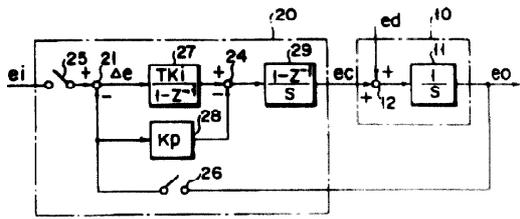
도면14



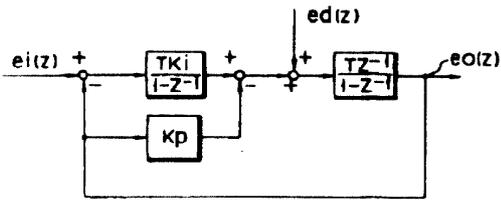
도면15



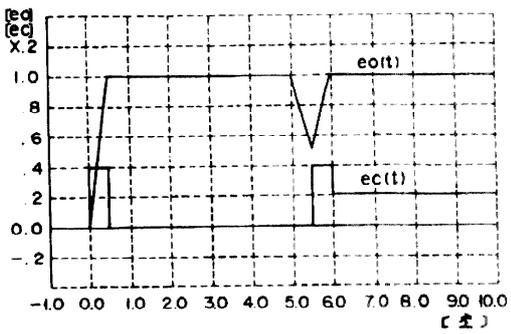
도면16



도면17



도면18



도면 19

