

化工程程序控制詳解

(习题)

曉園出版社
世界图书出版公司

内 容 简 介

本书是根据美国普陀大学D.库格诺 尔 等人 所 著
“Process Systems Analysis & Control”一书翻译的习
题解。

化 工 程 程 序 控 制 详 解(习 题)

何春松 译著

晓园出版社 出版

世界图书出版公司 北京分公司重印
(北京朝内大街 137 号)

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992年2月重印 850×11 68

1992年第1次印刷 印张: 7.5

印数: 001 — 950

ISBN7-5062-1186.6/0.36

定价: 7.60 元

世界图书出版公司通过中华版权代理公司
购得重印权限国内发行

-TQ015-44.

337800

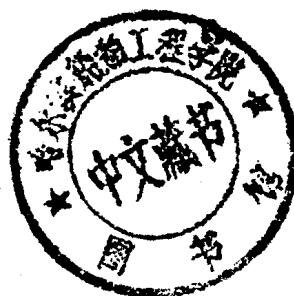
K50

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑑於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，當因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。



化工程程序控制詳解(习题)

目 錄

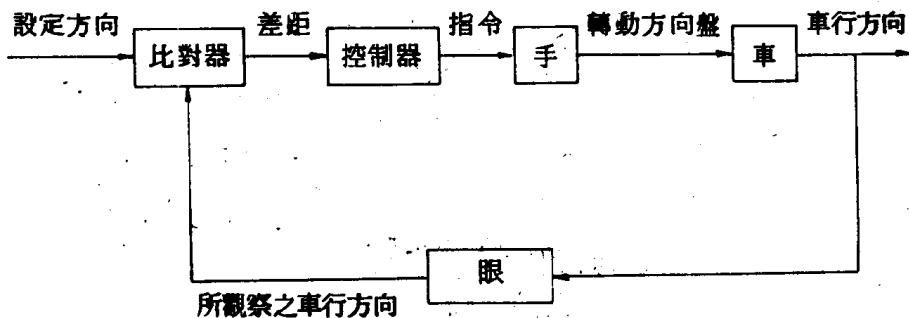
| | |
|-------------------------|-----|
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 第三章 部份分式法反轉求解..... | 3 |
| 第四章 轉換性質..... | 11 |
| 第五章 一次系統應答..... | 13 |
| 第六章 一次系統實例..... | 23 |
| 第七章 一次系統串聯之應答..... | 37 |
| 第八章 高次系統：二次系統與傳送落後..... | 41 |
| 第十章 控制器與末端控制元件..... | 65 |
| 第十二章 閉環轉換函數..... | 69 |
| 第十三章 簡單控制系統的瞬間應答..... | 71 |
| 第十四章 穩定性..... | 91 |
| 第十五章 根軌跡法..... | 101 |
| 第十六章 根軌跡法所得之瞬間應答..... | 117 |
| 第十七章 根軌跡法在控制系統之應用..... | 129 |
| 第十八章 頻率應答簡介..... | 141 |
| 第十九章 以頻率應答法設計之控制系統..... | 153 |
| 第二十章 頻率應答法之閉環應答..... | 169 |

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 第二十一章 | 賴氏穩定準則..... | 175 |
| 第二十二章 | 控制器機構特性..... | 191 |
| 第二十四章 | 複雜程序之實驗動態..... | 199 |
| 第二十七章 | 相平面分析法..... | 207 |
| 第二十八章 | 相平面分析實例..... | 209 |
| 第三十章 | 線性計算機操作..... | 213 |
| 第三十一章 | 非線性計算機操作..... | 225 |
| 第三十二章 | 控制系統模擬..... | 231 |

第一章 緒論

1-1 畫出人駕車所產生的控制系統塊解圖。

圖



此塊解圖乃閉迴路系統，人的眼睛就像機器控制系統中的測量元件。
本題中的比對器與控制器乃駕駛人的腦子。



第三章 部份分式法反轉求解

3-1 用拉氏轉換解下列問題。

$$a. \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$$

$$b. \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$$

$$c. \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{3dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$$

把這些解的圖形畫在同一張圖上， $\frac{dx}{dt}$ 的係數產生什麼樣的效應？

■ a. $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$

拉氏轉換得：

$$s^2 x(s) + sx(s) + x(s) = \frac{1}{s}$$

$$r(s) = \frac{1}{s(s^2 + s + 1)}$$

$$= \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s - r_1} + \frac{A_3}{s - r_2}$$

$$r_1 = \frac{-1 + \sqrt{3}j}{2}$$

$$r_2 = \frac{-1 - \sqrt{3}j}{2}$$

$$A_1 = \frac{1}{(s - r_1)(s - r_2)} \Big|_{s=0} = 1$$

$$A_2 = \frac{1}{s(s - r_1)} \Big|_{s=r_1} = \frac{-3 + \sqrt{3}j}{6}$$

$$A_3 = \frac{1}{s(s - r_2)} \Big|_{s=r_2} = \frac{-3 - \sqrt{3}j}{6}$$

∴ 拉氏反轉換得：

$$\begin{aligned}
 x(t) &= 1 + \left(\frac{-3 + \sqrt{3}j}{6} \right) \cdot e^{(\frac{-1+\sqrt{3}j}{2})t} + \left(\frac{-3 - \sqrt{3}j}{6} \right) \cdot e^{(\frac{-1-\sqrt{3}j}{2})t} \\
 &= 1 + \frac{1}{6} \cdot e^{-\frac{1}{2}t} \cdot \left[(-3 + \sqrt{3}j) \cdot \left(\cos \frac{\sqrt{3}}{2}t + j \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t \right) \right. \\
 &\quad \left. + (-3 - \sqrt{3}j) \cdot \left(\cos \frac{\sqrt{3}}{2}t - j \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t \right) \right] \\
 &= 1 - e^{-\frac{1}{2}t} \cdot \left(\cos \frac{\sqrt{3}}{2}t + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t \right)
 \end{aligned}$$

$$b. \frac{d^2x}{dt^2} + 2 \frac{dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$$

拉氏轉換得：

$$s^2 x(s) + 2s x(s) + x(s) = \frac{1}{s}$$

$$\begin{aligned}
 x(s) &= \frac{1}{s(s+1)^2} \\
 &= \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s+1} + \frac{A_3}{(s+1)^2}
 \end{aligned}$$

$$A_1 = 1, \quad A_2 = -1, \quad A_3 = -1$$

$$\begin{aligned}
 x(t) &= 1 - e^{-t} - t \cdot e^{-t} \\
 &= 1 - e^{-t}(1+t)
 \end{aligned}$$

$$c. \frac{d^2x}{dt^2} + 3 \frac{dx}{dt} + x = 1 \quad x(0) = x'(0) = 0$$

拉氏轉換得：

$$\begin{aligned}
 x(s) &= \frac{1}{s(s^2 + 3s + 1)} \\
 &= \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s - r_1} + \frac{A_3}{s - r_2}
 \end{aligned}$$

$$r_1 = \frac{-3 + \sqrt{5}}{2}, \quad r_2 = \frac{-3 - \sqrt{5}}{2}$$

$$A_1 = \frac{1}{(s - r_1)(s - r_2)} \Big|_{s=0} = 1$$

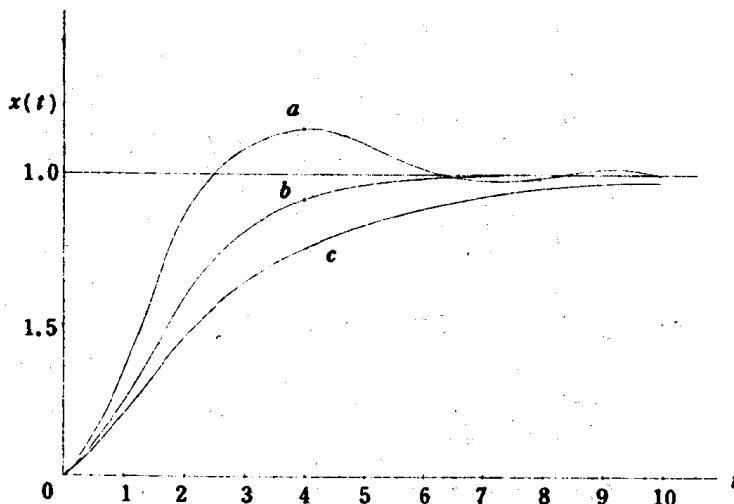
$$A_2 = \frac{1}{s(s - r_2)} \Big|_{s=r_1} = \frac{-(5+3\sqrt{5})}{10}$$

$$A_3 = \frac{1}{s(s - r_1)} \Big|_{s=r_2} = \frac{-(5-3\sqrt{5})}{10}$$

拉氏反轉換得：

$$x(t) = 1 - \frac{5+3\sqrt{5}}{10} \cdot e^{\left(\frac{-3+\sqrt{5}}{2}\right)t} - \frac{5-3\sqrt{5}}{10} \cdot e^{\left(\frac{-3-\sqrt{5}}{2}\right)t}$$

| t | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | ∞ |
|-----|---|------|------|------|------|------|------|----------|
| a | 0 | 0.34 | 0.85 | 1.15 | 1.0 | 0.98 | 1.0 | 1.0 |
| b | 0 | 0.26 | 0.59 | 0.91 | 0.98 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| c | 0 | 0.21 | 0.46 | | 0.88 | | 0.97 | 1.0 |



6 化工程序控制詳解

方程式中 $\frac{dx}{dt}$ 的係數影響 $x(t)$ 阻尼的程度，圖形(a)為欠阻尼，圖

形(b)為臨界阻尼，而圖形(c)為超阻尼。

3-2 用拉氏轉換解下列微分方程。

$$a. \frac{d^4x}{dt^4} + \frac{d^3x}{dt^3} = \cos t \quad x(0) = x'(0) = x''(0) = 0 \quad x'''(0) = 1$$

$$b. \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{dq}{dt} = t^2 + 2t \quad q(0) = 4 \quad q'(0) = -2$$

~~a.~~ $a. \frac{d^4x}{dt^4} + \frac{d^3x}{dt^3} = \cos t \quad x(0) = x'(0) = x''(0) = 0$
 $x'''(0) = 1$

拉氏轉換得：

$$s^4 x(s) - s + s^3 x(s) - 1 = \frac{s}{s^2 + 1}$$

$$s^3 x(s)(s+1) - (s+1) = \frac{s}{s^2 + 1}$$

$$\begin{aligned} x(s) &= \frac{1}{s^3} \left[1 + \frac{s}{(s^2 + 1)(s+1)} \right] \\ &= \frac{s^3 + s^2 + 2s + 1}{s^3(s+1)(s^2 + 1)} \\ &= \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s^2} + \frac{A_3}{s^3} + \frac{A_4}{s+1} + \frac{A_5}{s+j} + \frac{A_6}{s-j} \end{aligned}$$

$$A_4 = \frac{s^3 + s^2 + 2s + 1}{s^3(s^2 + 1)} \Big|_{s=-1} = \frac{1}{2}$$

$$A_5 = \frac{s^3 + s^2 + 2s + 1}{s^3(s+1)(s-j)} \Big|_{s=j} = \frac{1-j}{4}$$

$$A_6 = \frac{s^3 + s^2 + 2s + 1}{s^3(s+1)(s+j)} \Big|_{s=j} = \frac{1+j}{4}$$

$$A_3 = \frac{s^3 + s^2 + 2s + 1}{(s+1)(s^2 + 1)} \Big|_{s=0} = 1$$

$$A_1 = -1 \quad (\because s^4 \text{ 的係數為 } 0 \therefore A_1 + A_4 + A_5 + A_6 = 0)$$

$$A_2 = 1 \quad (\because s \text{ 的係數為 } 2 \therefore A_2 + A_3 = 2)$$

拉氏反轉換：

$$\therefore x(t) = -1 + t + \frac{t^2}{2} + \frac{1}{2} e^{-t} + \left(\frac{1-j}{4}\right) e^{-jt} + \left(\frac{1+j}{4}\right) \cdot e^{jt}$$

$$= -1 + t + \frac{t^2}{2} + \frac{1}{2} e^{-t} + \left(\frac{1-j}{4}\right) (\cos t - j \sin t)$$

$$+ \left(\frac{1+j}{4}\right) (\cos t + j \sin t)$$

$$= -1 + t + \frac{t^2}{2} + \frac{1}{2} e^{-t} + \frac{1}{2} \cos t - \frac{1}{2} \sin t$$

$$b. \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{dq}{dt} = t^2 + 2t \quad q(0) = 4, q'(0) = -2$$

$$s^2 Q(s) - 4s + 2 + sQ(s) - 4 = \frac{2}{s^2} + \frac{2}{s^2}$$

$$Q(s) = \frac{4s^4 + 2s^3 + 2s + 2}{s^4(s+1)}$$

$$= \frac{A_1}{s} + \frac{A_2}{s^2} + \frac{A_3}{s^3} + \frac{A_4}{s^4} + \frac{A_5}{s+1}$$

$$A_5 = \frac{4s^4 + 2s^3 + 2s + 2}{s^4} \Big|_{s=-1} = 2$$

$$A_4 = \frac{4s^4 + 2s^3 + 2s + 2}{s+1} \Big|_{s=0} = 2$$

$$A_3 = 0 \quad (\because s \text{ 的係數為 } 2 \therefore A_3 + A_4 = 2)$$

$$A_2 = 2 \quad (\because s^4 \text{ 的係數為 } 4 \therefore A_1 + A_5 = 4)$$

$$A_1 = 0 \quad (\because s^3 \text{ 的係數為 } 0 \therefore A_2 + A_3 = 0)$$

$$\therefore q(t) = 2 + \frac{1}{3} t^3 + 2e^{-t}$$

3-3 求下列拉氏反轉換：

$$a. \frac{3s}{(s^2+1)(s^2+4)}$$

$$b. \frac{1}{s(s^2 - 2s + 5)}$$

$$c. \frac{3s^3 - s^2 - 3s + 2}{s^2(s-1)^2}$$

圖 a. $G(s) = \frac{3s}{(s^2 + 1)(s^2 + 4)}$

$$= \frac{s}{s^2 + 1} - \frac{s}{s^2 + 2^2}$$

$$\therefore G(t) = \cos t - \cos 2t$$

$$b. G(s) = \frac{1}{s(s^2 - 2s + 5)}$$

$$= \frac{A}{s} + \frac{Bs + C}{(s-1)^2 + 2^2}$$

$$= \frac{1}{5} + \frac{-\frac{1}{5}s}{(s-1)^2 + 2^2} + \frac{\frac{2}{5}}{(s-1)^2 + 2^2}$$

$$= \frac{1}{5} + \frac{-\frac{1}{5}(s-1)}{(s-1)^2 + 2^2} + \frac{2}{10(s-1)^2 + 2^2}$$

$$\therefore G(t) = \frac{1}{5} - \frac{1}{5} \cdot e^t \cos 2t + \frac{1}{10} e^t \sin 2t$$

$$c. G(s) = \frac{3s^3 - s^2 - 3s + 2}{s^2(s-1)^2}$$

$$= \frac{A}{s} + \frac{B}{s^2} + \frac{C}{(s-1)} + \frac{D}{(s-1)^2}$$

$$B = \left. \frac{3s^3 - s^2 - 3s + 2}{(s-1)^2} \right|_{s=0} = 2$$

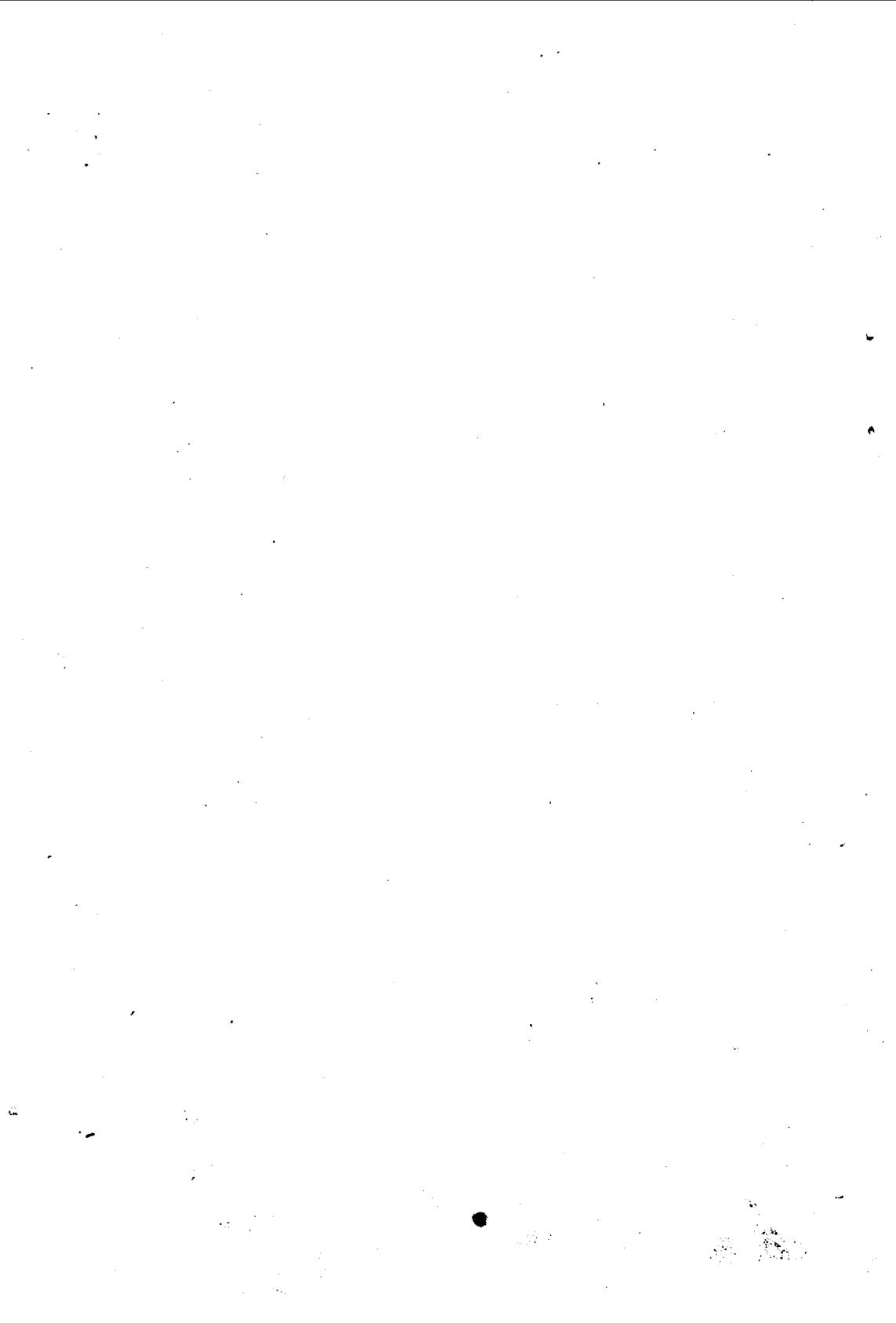
$$D = \left. \frac{3s^3 - s^2 - 3s + 2}{s^2} \right|_{s=1} = 1$$

$$A = 1 \quad (\because s \text{ 的係數為 } -3 \quad \therefore A - 2B = -3)$$

$$C = 2 \quad (\because s^2 \text{ 的係數為 } 3 \quad \therefore A + C = 3)$$

$$\therefore G(s) = \frac{1}{s} + \frac{2}{s^2} + \frac{2}{s-1} + \frac{1}{(s-1)^2}$$

$$\therefore G(t) = 1 + 2t + 2e^t + t \cdot e^t$$



第四章 轉換性質

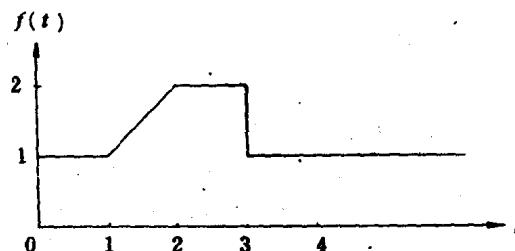
4-1 若函數 $f(t)$ 有拉氏轉換。

$$f(s) = \frac{1}{s} + \frac{e^{-s} - e^{-2s}}{s^2} - \frac{e^{-3s}}{s}$$

作出 $f(t)$ 之圖形。

題 $f(s) = \frac{1}{s} + \frac{e^{-s} - e^{-2s}}{s^2} - \frac{e^{-3s}}{s}$

$$f(t) = 1 + (t-1)u(t-1) - (t-2)u(t-2) - u(t-3)$$



4-2 由下列方程式解 $y(t)$

$$\int_0^t y(\tau) d\tau = \frac{dy(t)}{dt} \quad y(0) = 1$$

題 $\int_0^t y(\tau) d\tau = \frac{dy(t)}{dt} \quad y(0) = 1$

取拉氏轉換：

$$\frac{Y(s)}{s} = sY(s) - 1$$

$$Y(s) = \frac{s}{s^2 - 1} = \frac{\frac{1}{2}}{s+1} + \frac{\frac{1}{2}}{s-1}$$

1.2 化工程序控制解

$$y(t) = \frac{1}{2} e^{-t} + \frac{1}{2} e^t = \cosh t$$