

自動控制《電氣應用》

許溢适·編譯



正文書局印行

TP273
X718

自動控制《電氣應用》

許溢适・編譯



正文書局印行

中華民國六十九年三月一日出版

自動控制《電氣應用》

定價

版權所有
翻印必究

編譯者：許溢禮

發行人：黃開禮

發行所：正文書局有限公司

總管理處
台北市和平東路二段三五二號
電話：七〇八四〇六

門市部
台北市重慶南路一段五十九號
電話：三七一〇四三七・三一四六〇九

郵政劃撥帳戶第五九六一號

經銷者：全省各大書局

本書局登記證字號：行政院新聞局版台業字第六一八號

序

本書適合作為自動控制的養成訓練教科書。內容偏重於應用的方面，適合工廠工作同仁參考之用，一般大專課程所用的自動控制書籍皆偏重理論方面，如採用本書作為大專自動控制之參考用書，相信學生會發生興趣而進一步的瞭解。

本書第1章為自動控制基礎介紹，即一般的自動控制，第2章為常用而重要的自動控制機器介紹，第3章為自動控制的應用，介紹自動控制的典型例子。

譯者所知有限，疏漏謬誤之處難免，尚祈各方先進隨時指正。

許淦适 謹識

自動控制(電氣應用)

目 錄

第一章 自動控制的基礎

| | |
|---------------------------|----|
| 第一節 基礎名詞..... | 1 |
| 1-1 手動控制..... | 1 |
| 1-2 自動控制的組合..... | 2 |
| 1-3 順序控制與反饋控制..... | 6 |
| 1-4 目標值，注意控制量的自動控制分類..... | 7 |
| 1-5 控制動作與自動控制的分類..... | 10 |
| 第二節 轉移函數及方塊線圖..... | 16 |
| 2-1 轉移函數..... | 16 |
| 2-2 轉移函數求法的例子..... | 17 |
| 2-3 直流機的轉移函數..... | 19 |
| 2-4 方塊線圖的看法與繪法..... | 22 |
| 2-5 方塊線圖的作成例..... | 24 |
| 2-6 轉移函數的變換..... | 26 |
| 第三節 自動控制系統的性質..... | 32 |
| 3-1 研究控制系統，要素動作性的意義..... | 32 |
| 3-2 負反饋的效果..... | 37 |
| 3-3 0形系統與1形系統的定常偏差..... | 38 |

2 自動控制(電氣應用)

| | | |
|------|---------------|----|
| 3-4 | 由步級響應看各種要素 | 40 |
| 3-5 | 一次落後要素的步級響應 | 44 |
| 3-6 | 二次落後系統的步級響應 | 47 |
| 3-7 | 頻率響應的表示法 | 49 |
| 3-8 | 為何使用包德線圖或相量軌跡 | 51 |
| 3-9 | 基本要素的頻率特性 | 52 |
| 3-10 | 增益餘裕與相位餘裕 | 59 |
| 3-11 | 速應性與衰減性 | 61 |
| 3-12 | 安定判別 | 62 |
| 3-13 | M_p 規範 | 64 |
| 3-14 | 控制系統的特性改善 | 66 |

第二章 自動控制用機器

| | | |
|-----|----------------|-----|
| 第一節 | 檢出用機器 | 71 |
| 1-1 | 程序控制用檢出器 | 71 |
| 1-2 | 伺服機構用檢出器 | 81 |
| 1-3 | 電壓調整, 速度控制用檢出器 | 90 |
| 第二節 | 電氣式放大機器 | 100 |
| 2-1 | 真空管的放大作用 | 100 |
| 2-2 | 電晶體的基本迴路 | 101 |
| 2-3 | 電晶體迴路的偏差 | 106 |
| 2-4 | 直流通路 | 109 |
| 2-5 | 伺服用前置放大器的構成 | 113 |
| 2-6 | 閘流體 | 115 |
| 2-7 | 磁放大器 | 121 |
| 2-8 | 旋轉放大機 | 128 |

| | | |
|-----|--------------------|-----|
| 第三節 | 調節計(調節器)..... | 132 |
| 3-1 | 調節計(調節器)的概要..... | 132 |
| 3-2 | 油壓式調節器..... | 133 |
| 3-3 | 空氣壓式調節器..... | 135 |
| 3-4 | 電氣式調節計..... | 138 |
| 3-5 | 併用式調節計及各方式的比較..... | 147 |
| 3-6 | 調節計的最適調整..... | 148 |
| 第四節 | 操作用機器..... | 150 |
| 4-1 | 伺服電動機..... | 150 |
| 4-2 | 步進電動機..... | 157 |
| 4-3 | 離 合 器..... | 158 |
| 4-4 | 電磁閥與電動閥..... | 160 |
| 4-5 | 油壓式操作機器..... | 162 |
| 4-6 | 空氣壓式操作機器..... | 164 |
| 第五節 | 傳 送 器..... | 165 |
| 5-1 | 傳送器及其方式..... | 165 |
| 5-2 | 空氣式傳送器..... | 165 |
| 5-3 | 電氣式傳送器..... | 167 |
| 第六節 | 資料處理裝置..... | 174 |

第三章 自動控制的應用

| | | |
|-----|-------------------------|-----|
| 第一節 | 自動電壓調整..... | 181 |
| 1-1 | 需用端線路用 AVR 的分類..... | 181 |
| 1-2 | 串聯控制形直流安定化電源的例子..... | 184 |
| 1-3 | 閘流體交流電壓調整器的例子..... | 185 |
| 1-4 | 電機控制系統使用放大機器時的基本方法..... | 186 |

4 自動控制 (電氣應用)

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 1-5 | 電流的自動控制 | 187 |
| 1-6 | 同步發電機的激磁方式與 AVR | 188 |
| 第二節 | 電動機速度控制 | 190 |
| 2-1 | 直流電動機的速度控制 | 191 |
| 2-2 | 感應電動機的速度控制 | 195 |
| 2-3 | 交流換向器電動機的速度控制 | 197 |
| 第三節 | 電動機整體速度控制 | 198 |
| 3-1 | 整體速度控制的分類 | 198 |
| 3-2 | 直流電動機整體速度的控制例 | 199 |
| 第四節 | 伺服電動機的應用 | 201 |
| 4-1 | 自動追蹤雷達的原理 | 201 |
| 4-2 | 相位調變追蹤控制的例子 | 202 |
| 4-3 | 轉舵裝置的例子 | 203 |
| 4-4 | 數位伺服 | 204 |
| 4-5 | 依數位控制決定位置 | 205 |
| 第五節 | 空氣調節的自動控制 | 207 |
| 5-1 | 溫度調整 | 207 |
| 5-2 | 濕度調整 | 209 |
| 5-3 | 風量調整 | 210 |
| 5-4 | 壓力調整 | 211 |
| 5-5 | 其他 | 211 |
| 第六節 | 鍋爐的控制 | 211 |
| 6-1 | 自動燃燒控制 | 212 |
| 6-2 | 自動蒸氣溫度控制 | 212 |
| 6-3 | 自動給水控制 | 213 |
| 6-4 | 最近的控制方式 | 214 |

第七節 計算機控制.....215

第一章 自動控制的基礎

第一節 基礎名詞

1-1 手動控制

一般以適合某目的為對象加所需的操作稱為控制。例如圖 1.1 所示的電熱式溫水器，其溶液的溫度希望在某值（目標值）的情形來考慮。此時溶液的溫度必須用溫度計（檢出部）來檢出，與目標值比較看看有何種的差別（控制偏差）。其次為要免除控制偏差用手開閉（操作）開關，斷續控制電熱器的電流。如此欲達目的（控制量），操作使與溶液的溫度目標值一致。

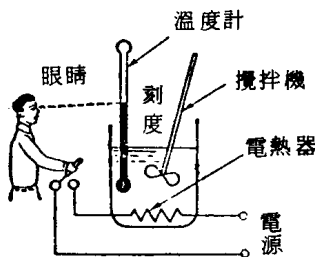


圖 1-1 溫度與手動控制

前述中（ ）內所寫為自動控制的名詞，基本名詞的定義如表 1.1 所示。儘快習慣使用，非容易使用不可。

2 自動控制（電氣應用）

其次前述的控制結構用線圖表示，如圖 1.2 所示。這種線圖以控制來表示，研究調查時非常便利，稱為方塊線圖。

由圖知道，人類所作的控制，必須檢出控制量，與目標值比較找出控制偏差，加操作於控制對象使控制偏差等於 0，更把修正的結果一再檢出，形成一巡閉環為其大特點。

再舉出一例，如定速轉動的直流分激發電機的定電壓控制狀況，如圖 1.2 的（ ）內，對照調查來研究。

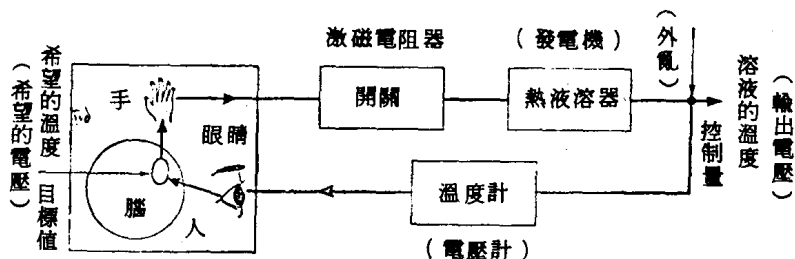


圖 1-2 圖 1-1 的方塊線圖

必須保持輸出電壓 100 V（目標值）。負載的變動或依電阻的溫度變化（外亂），輸出電壓（控制量）急變變成 95 V。運輸者用眼睛（檢出部）確認，同時傳到大腦（調節部），判斷 $100 - 95 = 5$ V 的偏差（控制偏差），而產生下列的動作。

則運轉者以手轉動激磁電阻器（操作部），增加發電機的激磁電流（操作量），把輸出電壓（控制量）上升到 100 V。

把以上的事實，追蹤此控制電壓的例以及控制電壓的經過，可知為閉環。人們如加入閉環的一部份稱為手動控制（人們控制動作所作的控制）。

1-2 自動控制的組合

表 1-1 自動控制的基本名詞

| | |
|---|---|
| 控制系統 自動控制系統 | 控制對象，控制裝置等作有系統的組合。 控制自動動作的控制系統。 |
| 控制對象 控制裝置 檢出部 ¹ 調節部 比較部 ¹ 操作部 | 成爲控制的對象，相當機械，程序，系統等相當全部或一部份。 如要控制，附加控制對象的裝置。 由控制對象，環境，目標等取出控制所需訊號的部份。 以基準輸入訊號與檢出部輸出訊號爲基礎，取出控制系統所需動作的訊號，送出到操作部的部份。 由目標值及控制量導出訊號互相比較，產生控制動作，取出必要情報訊號的部份。 由調節部等的訊號變換操作量，動作控制對象的部份。 |
| 目標值 ² 基準輸入訊號 控制動作訊號 ³ 操作量 主反饋訊號 控制偏差 外亂 | 在控制系統，取控制量的某值爲目標，由外部所得之值。 動作控制系統的基準，直接加於閉環的輸入訊號，對目標值有一定的關係，由控制量到主反饋訊號與此比較者。 基準輸入訊號與主反饋訊號比較所得之訊號，引起控制動作的訊號。 如要作控制加於控制對象的量，依照變化能支配控制量。 爲要控制量之值與目標值比較的反饋訊號。 由目標值減控制量之值。 擾亂控制系統狀態的外來作用。 |
| 方塊線圖 | 控制系統的構成要素以方塊圖表示，表示訊號該動的線連結而成線圖。 |
| 基準輸入要素 控制要素 反饋要素 | 目標值變換爲基準輸入訊號的裝置。在控制裝置中，此部份稱爲標置部 ¹ 。 控制動作訊號變換爲操作量要素。由調節部與操作部所構成。 控制量變換爲主反饋訊號的要素。此部份稱爲檢出部。 |

- 〔註〕 * (1)實際上標置部，比較部，檢出部成一體，1個裝置大多能發揮這些任務，把這些組合稱爲檢出器或偏差檢出部。
 (2)定值控制（目標值一定的控制）的情形，目標值換用標置值的名詞。
 (3)如不會有錯誤的情形，單稱動作訊號也可以。

4 自動控制（電氣應用）

由前述的手動控制除掉人，作為自動控制的方法。以下研究這些問題，就前述二例中舉出電壓控制。

結論如圖 1.3 所示構成與原理，就可達到目的。

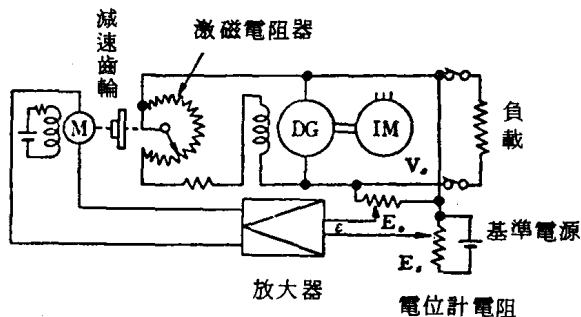


圖 1-3 發電機輸出電壓的自動控制

與 $E = 100 V$ （目標值）成比例的 E_0 （基準輸入訊號）與輸出電壓 V_0 （控制量）成比例的 E_0 （主反饋量），放大其差 $E_0 - E_0 = \epsilon$ （動作訊號），加減激磁電阻器供電電動機*¹ M 。

變化激磁電阻器適當減速此電動機，加減激磁電流（操作量），其動作的傾向依 ϵ 的 $+$ ， $-$ ，經常向輸出電壓修正的方向來定。

因此繼續動作到 $\epsilon = 0$ ，則輸出電壓 V_0 （控制量）為 $100 V$ （目標值），如 $\epsilon = 0$ 則達到控制的目的。

以上動作與圖 1.2 同樣以線圖表示，如圖 1-4 所示。應注意作成閉環。這種自動控制（依控制裝置作自動的控制），稱為反饋控制。反饋形成閉環，輸出側的訊號回到輸入側。

其次就圖 1.1 所示溫水器的自動控制來說明，如構成圖 1.5 所示就達到目的。如希望溫度為 θ_a 時，目標值標置在 θ_a 。開始比 θ_a 低的溫度而有 $(\theta_a - \theta)$ 的控制偏差，用調節計（標置部，調節部及

〔註〕*¹ 這種電動機稱為伺服電動機。

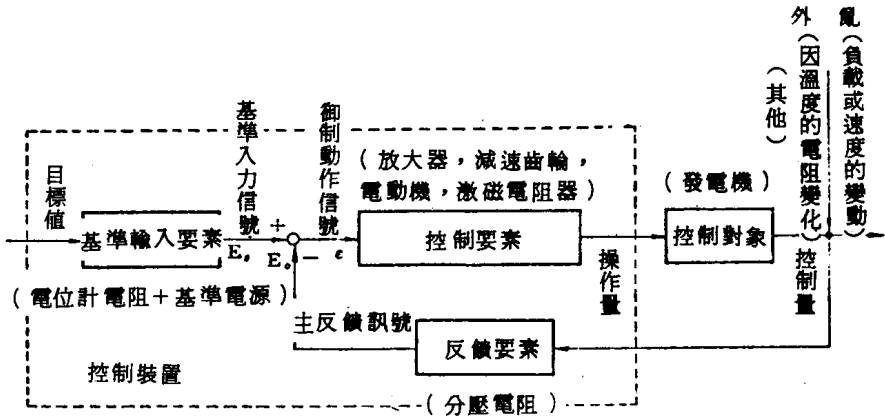


圖 1-4 反饋控制系統的方塊線圖

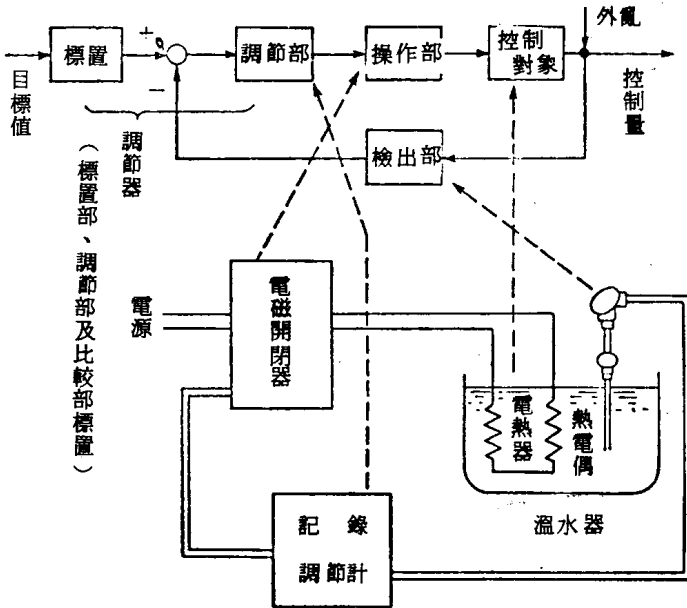


圖 1-5 開關溫度控制的例

6 自動控制（電氣應用）

比較部成套，指示或記錄所欲測定之控制量）指示，閉合電磁開關的接點，電熱器開始充電。

水的溫度如圖 1.6 所示，依 θ 開始上升，電熱器的通電繼續。溫度上升到達 A 時，調節計的“接點開啓”，發出訊號變成限界的控制偏差，依調節計的指令，電磁開關把接點開啓而不通電。結果水的溫度由 A 向 B 下降，到達 B 變成“接點閉合”的限界控制偏差，而再開始通電。以下如圖 1.6 所示接點開閉反覆動作，溫水的溫度停於目標

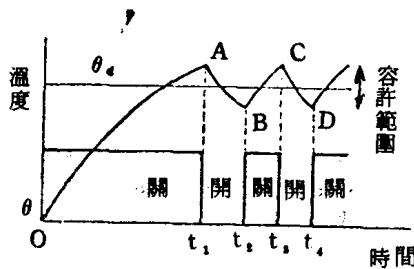


圖 1-6 溫度的變化狀況

值 θ_a 附近的容許範圍內。這裡所示的控制方法稱為開閉控制。

圖 1.4 , 1.5 所示的方塊線圖在自動控制學上非常重要，係典型的方塊線圖，與表 1.1 的名詞對照充分理解是一件重要的事。

1-3 順序控制與反饋控制

狹義稱為自動控制，指前述的反饋控制，廣義稱為順序控制的控制方法，兩者並排，形成今日自動控制的分界，表示其定義。

(1) 順序控制（開迴路控制）：依照事先所訂的順序，逐次進行控制各階段的控制。

例如：電梯，大形電動機等的起動，自動門等。相對反饋控制的定義如下。

(2)反饋控制(閉迴路控制):依反饋控制量的值與目標值比較,爲要一致所作訂正動作的控制。

實際上順序控制所佔的比重很大,依裝置的種類或條件,非個別考慮不可,一般討論是非常困難的事,各要素組合作連續動作,則不太會有問題,本書以下表示有關反饋控制。

1-4 目標值,注意控制量的自動控制分類

自動控制利用多方面,其使用法很多,其方式各有特別的形式,方便上依各種方法來分類。已述的順序控制,反饋控制爲其一例,表1-2舉出種種控制的例子。

(1) 依目標值的時間上性質來分類:

(a) 目標值一定的控制爲定值控制,自動電壓調整器或恒溫的控制屬於此類。

(b) 預先定目標值依時間上所定的程序來控制爲程式控制。例如金屬的淬火等熱定理時的溫度控制,染色槽的溫度控制等爲其良好的例子。

又粗車床等材料加工時所用的粗控制,目標值預先成爲空間上的形狀所給程式控制的一種來考慮。

(c) 目標值依其他物理量的變化,繼續保持一定關係的變化控制爲追蹤控制。雷達追蹤飛行體的位置時,飛行體隨時間的經過,未知變化到何種的位置。此時飛行體的位置爲目標值,此爲雷達作追蹤控制。追蹤人造衛星自動變化方向的橢圓天線的自動追尾裝置等也是追從控制的一例,後述多伺服機構。

又重油等的自動燃燒裝置等,其通風量依燃料的供給量或煙道瓦斯中的 CO 或 O_2 的量控制,阿摩尼亞合成時,送到反應爐的 N_2 量與 H_2 流量混合保持一定比率的控制,比率控制也是追從控制的一種。

表 1-2 種種的自動控制

| | | |
|-----------|---|--|
| 目標值的時間上性質 | 定值控制 追從控制 程式控制 | 目標值一定的控制。 目標值任意變化的控制。 目標值依預先所定變化的控制。 |
| 操作能源 | 自力控制 他力控制 | 動作操作部所需能量，由控制對象直接所得而作的控制 動作操作部所需能量，由補助能量源所得而作的控制 |
| 控制量的數 | 一變數控制 多變數控制 ^{*1} | 控制量或操作量只有一個的控制。 複合控制例如比率控制：有目標值具有與他量一定的比率關係變化時的控制。 結合控制 ^{*2} 例如縱橫控制：關於反饋控制系統，依一次調節器的輸出訊號，動作二次調節器的標置部而作的控制。 |
| 種種控制 | 樣值控制 數位控制 數值控制 計算機控制 最適控制 適應控制 遠方控制 | 控制系統的一部份依樣品 ^{*3} 所得間歇性訊號的控制。 控制系統內的主要訊號，使用數字量來控制作業的指令(穿孔帶或穿孔卡片，磁帶等)電碼化數值形所作的控制。 控制裝置中裝入計算機，利用此高度機能的自動控制。 控制對象的狀態，自動使成所需最適狀態的控制。 目標值或外亂的性質變化，或控制系統的置放受環境的影響，控制系統的特性變化時，依這些變化滿足控制裝置特性所需的條件所變化的控制。 特定的裝置互相遠離所構成要素間，使訊號的授受以及操作能控制。 |

[註] *1)有很多操作量與控制量，其間有干涉的控制。
 (2) 2以上的反饋控制系統結合，兩者間有干涉的控制。
 (3)由時間上連續的訊號，取出成爲標本脈衝列訊號。