

電力拖動特殊問題

蘇聯專家阿·依·舒金編著

交通大學工業企業電氣化教研組譯

1956

電力拖動特殊問題

(同步跟隨系統)

蘇聯專家阿·依·舒金編著

交通大學工業企業電氣化教研組譯

1 9 5 6

本書是蘇聯專家阿·依·舒金同志於1955—1956年在交通大學講課時所用的講義，可作為工業企業電氣化專業本科學生學習時的主要參考書。本書由鄭守淇同志翻譯，但未經專家最後校閱，如有錯誤由譯者負責。

交通大學工業企業電氣化教研組

一九五六年五月

序 言

現代同步跟隨系統是非常複雜的機構，往往包含各種機器、器械和電子離子自動裝置的組件，並且相互間用種種電磁的和機械的聯結聯成一起。

在這些系統中的過渡歷程，要用高階微分方程式來說明，沒有簡單的數學工具可解出這些微分方程式，並且研究複雜系統的方法亦是非常繁的，因此在研究這些系統以及其中過渡歷程的時候引起極大的困難。

然而同步跟隨系統中過渡歷程的物理形象卻可以比較容易地用最簡單的系統作為例子來說明，這些例子就在下文中加以研究。

一方面由於非線性微分方程理論的複雜性和處理非線性的困難，另一方面亦由於線性系統是最簡單和廣泛應用的系統，因此把材料的範圍限於研究可以近似地視為線性的系統。

目 錄

序言	1
第一章 基本原理和定義	1
1-1 緒論	1
1-2 跟隨系統的用途和種類	3
1-3 同步跟隨系統的結構和特點	4
1-4 論系統中的過渡過程	10
第二章 比例控制系統	13
2-1 定義	13
2-2 系統的微分方程式	14
2-3 轉動慣量極小的系統	22
2-4 負載轉矩極小的系統	23
2-5 負載轉矩為臨界值的系統	25
2-6 系統的緩和程度	26
2-7 由緩度與時間常數決定的系統運動特徵	28
2-8 系統的反應的迅速度	33
2-9 系統的優良係數	35
2-10 結論	36
第三章 微分控制系統	37
3-1 定義	37
3-2 系統的微分方程式	38
3-3 導數對系統中過程的影響	44

3-4 由 Δ_s 和 K_s 值決定的系統動作	46
3-5 轉動慣量極小的系統	48
3-6 負載轉矩極小的系統	51
3-7 誤差的導數對拖動電機轉矩的影響	55
3-8 微分控制系統的優良係數	58
3-9 結論	59
第四章 微分積分控制系統	61
4-1 定義	61
4-2 系統的方程式	62
4-3 導數的影響	73
4-4 積分控制常數和系統的動作	75
4-5 依靠導數改善系統的品質	77
4-6 積分成分對系統的時間常數的影響	78
4-7 R , Δ_n 和 T_n 的圖解法	79
4-8 浮斯聶格拉斯基圖及其進一步推廣	81
4-9 結論	85
第五章 單迴路跟隨系統及其環節的轉移函數	87
5-1 導論	87
5-2 系統的按照環節劃分	88
5-3 系統的典型環節及其轉移函數	90
5-4 系統中元件和組件的轉移函數的確定與用典型環節的 替代	107
5-5 環節的串聯與並聯	121
5-6 結構圖	126
5-7 互相作用的組件和裝置	126

5-8 開週和閉週系統的轉移函數	136
5-9 在反饋通路中添置方框的系統	141
第六章 多迴路系統	144
6-1 基本原理和定義	144
6-2 兩個方框的系統	145
6-3 三個方框的系統	147
6-4 四個方框的系統	148
6-5 多迴路系統的其他類型	149
6-6 環節和方框的複雜聯接	152
6-7 多迴路系統的結構圖和轉移函數的普遍公式	160
6-8 受到附加的作用的系統	164
6-9 處理多迴路系統的方法	169
第七章 系統的穩定性和品質	177
7-1 概論	177
7-2 依據幅相特性確定系統的穩定性	179
7-3 應用所形成控制訊號與誤差及其導數成比例的迴路的 系統的鎮定	186
7-4 用放大機電壓附加反饋的鎮定	193
7-5 用測速發電機的系統的鎮定	197
7-6 用拖動電機軸轉動的測速發電機的鎮定	201
第八章 同步跟隨系統的線路	206
8-1 緒論	206
8-2 測量差角的自整角器線路	208
8-3 雙速的差角測量系統	211
8-4 在雙速系統中的假零點	213

8-5 精計和粗計線路的訊號選擇.....	216
8-6 乾整流器選擇器.....	217
8-7 氖燈選擇器.....	221
8-8 具有電子管和繼電器的選擇器.....	222
8-9 系統拖動軸從極端位置中的自動脫出.....	223
8-10 具有電子管放大器的小功率跟隨系統	225
8-11 具有閘流管放大器的跟隨拖動	228
8-12 具有電機放大器的系統	232
8-13 具有磁放大器的系統	235
8-14 電氣液壓系統	237
參考文獻	242

電力拖動特殊問題

同步跟隨系統

第一章 基本原理和定義

1-1 緒 論

任何跟隨系統、在某種程度上、都是非線性的。這些非線性主要是由於系統中元件本身的非線性，乾磨擦和傳動系統各環節中的空隙和鬆動的影響所引起的。

嚴格講，這些系統的計算和研究應當在非線性微分方程理論的基礎上進行的。

但是這些理論非常複雜，並且到現在還有許多未曾克服的數學上困難，因而就不容許把這些非線性理論作為方向來設計和研究跟隨系統。

從另一方面來講，線性理論比較簡單，在實際工作中有效，具有可以接受的準確度，所以使它在大多數場合中適於設計研究等實際工作，因此，在本課中研究跟隨系統的基礎是線性調整理論。線性調整理論在自動調整裝置工程計算中的實際應用是在 1876—1877 年浮施聶格拉斯基(И. А. Вышнеградский)的文件[文獻 2, 3]出版之後才開始的。

在這些文件出現以前，大家知道[文獻 1, 3]，機器調整的理論和實際是根據錯誤的原則的。在進一步發展過程中浮施聶格拉斯基的

線性自動調整理論，被廣泛應用於連續調整系統的板大領域中，跟隨系統就是其中之一。

所謂線性系統就是在這一理論的基礎上所研究的。由於組成跟隨系統的各元件或多或少都帶有非線性，所以線性這一名稱是帶某些條件的。在以後，線性系統將了解成其中元件是線性的或在能接受的近似程度下可看成是線性的系統。

必須指出，遠非所有的元件都可加以線性化的，在線性化時應當非常小心，並應考慮到元件所起的全部作用。

有足夠理由說，對於任何一個在線性化時作為線性看待的非線性元件，它的非線性，有時不但可以引起數量上的變化而且亦可引起性質上的變化，使系統的運動根本改變，從而改變全部過渡歷程的進行情況。

在研究自動跟隨系統的時候，通常認為加在系統上的干擾作用是給定的時間函數。

但是在一般情況下，干擾作用亦可以不是給定的時間函數，而是偶然性的函數，即連續改變的偶然性的作用。

許多蘇聯學者在創立處於連續改變的偶然性作用之下的自動系統的研究和計算方法方面有過貢獻，如柯爾莫格洛夫 (А.Н. Колмогоров)，莫依先也夫 (Н.Д. Моисеев)，波爾茹闊夫 (Б.В. Булгаков) 和辛欽 (А.Я. Хинчин) 等。並且在索洛杜夫尼柯夫 (В.В. Солодовников) 的著作中 [文獻 9, 12]，這些方法得到進一步的發展和概括。

但是這一理論的發展方向牽涉到比較複雜的數學工具，其中有數理統計學中的概念和方法。

亦應指出，這一統計學的辦法並不否定普通研究方法的意義，而只是沿着更全面考慮實際條件的方向，進一步擴大研究自動系統工

作的領域。

在極大多數的場合中，沒有必要應用統計方法來研究和計算跟隨系統，所以下文將依據普通的研究方法來說明，即加在系統上的干擾作用是給定的時間函數。

1-2 跟隨系統的用途和種類

跟隨系統的應用範圍是很廣泛的，而它能够擔當的任務亦是各種各樣的。

跟隨系統的應用有下列各種：仿模銑床的自動仿模加工、砲的射擊，船或飛機維持給定航線，軋鋼機中的夾緊裝置、砲台和砲塔的鎮定，方位測定裝置中天線的轉動，無線電定位站（雷達站）的天線控制，以及各種信號與指示的重複表現等等。

跟隨系統是包括在自動調整系統之內的。

大家知道，自動調整系統可分成由要的三類：

1. 固有的自動調整系統或鎮定系統。被調整量的給定值是常數*
2. 程序調整系統。被調整量按一定的程序變化。
3. 被調整量的給定值可任意變化的系統。

第三類系統叫做跟隨系統。

所以叫做“跟隨”這一名字是由於在這些系統中輸出元件或輸出量和輸入元件或輸入量（即參據作用）之間有取得一致位置的跟隨作用。

一般講，跟隨系統可以按照用途，結構和動作的特徵等三個主要

* 依靠某些元件如鐵諧振鎮定器，鎮流器或類似裝置的鎮定特性而得到的對於任何物理量例如電壓或電流的開關鎮定系統，當然是不算在固有自動調整之內的。

的第一軸相聯。這軸叫做差動裝置的輸入軸；第二軸（輸出軸） B 和電位器 R 的滑桿裝牢。

電位器接在變壓器次級繞組的兩端上。變壓器的初級繞組接到電源。電位器滑桿和變壓器繞組中點間的電壓加在放大器 Y 的輸入上。

從放大器的輸出端出來的電壓接到施動電動機 HA 的兩端，電動機的軸直接或經過減速器聯到系統的負載 H 。

除此以外，電動機軸利用反饋聯結跟差動元件 A 相聯，因而軸的轉動角度立即傳到差動元件。

在理論上以反構造上，反饋聯結可以用各種方法和工具得到，在本系統中，作為差動元件的是機械差動裝置，所以反饋聯結可通過機械軸和齒輪傳動來實現。

轉動手柄 A ，使拖動電動機軸轉過所希望的角度，從而負載亦跟着轉動。所以手柄可以稱為系統的參據元件或輸入。

控制手柄的轉動角度是系統的參據作用量或輸入函數（輸入訊號）而電動機軸的轉動角度是輸出函數或系統的輸出。在電動機軸轉動時（系統的輸出）引起負載的運動，同時經過反饋聯結，輸出函數又反饋到原件 A 。

元件 A 稱為系統的測量元件，因為參據作用量和系統的輸出函數在其中進行測量或比較。

在本系統中，作為測量元件的是簡單的機械差動裝置，它比較該指定的兩量而在輸出端（ B 軸）出現兩量的代數差。

輸入和輸出量之差往往稱為系統的偏差，誤差或差量。我們把它叫做系統的誤差。很明顯的，這一名稱能較好地反映它的物理本質，而且和其他技術領域中已經接受的概念術語相一致。

例如，在電工計量儀器中，誤差是了解為儀器讀數和真正測量值之間的差數。並且，有趣地指出，產生這一差數的主要原因有許多地方是和跟隨系統中引起誤差的原因相類似的。

如果參據作用，即系統的輸入訊號是時間的函數，用 $Z_1(t)$ 表示，而輸入或輸入函數用 $Z_0(t)$ 表示，或者簡寫成 Z_1 和 Z_0 ，那末系統的誤差亦是時間的函數，用 $\epsilon(t)$ 表示。可寫出

$$\epsilon(t) = Z_1(t) - Z_0(t)$$

或簡單地寫成

$$\epsilon = Z_1 - Z_0.$$

系統的輸入和輸出函數在個別場合中可以表現為輸入和輸出元件的角位移，線位移，以及電流，電壓等物理量。

當控制手柄轉過 Z_1 角時輸出軸轉過 Z_0 角，而差動裝置的輸出軸轉過 ϵ 角， ϵ 是系統的誤差並在數量上等於前二角度之差。在一般情況中，除了機械差動裝置之外亦可以用其他的能顯出該二量之差的任何裝置。

當軸 B 轉動時，裝牢在它末端上的電位器滑桿亦在電阻 R 上以同一方向轉動。

因為加在放大器輸入端的電壓是從電位器滑桿和變壓器次級繞組中點之間取下來的，所以這電壓不但可以在數量上改變而且可以跟交流電源的電壓同相或反相。放大器輸出端跟拖動電動機的輸入端聯接，電動機軸向這一方向或那一方向的轉動角度不但傳至負載而且通過反饋聯結傳到計量原件，因而對系統的進一步行動加以必須的校正。

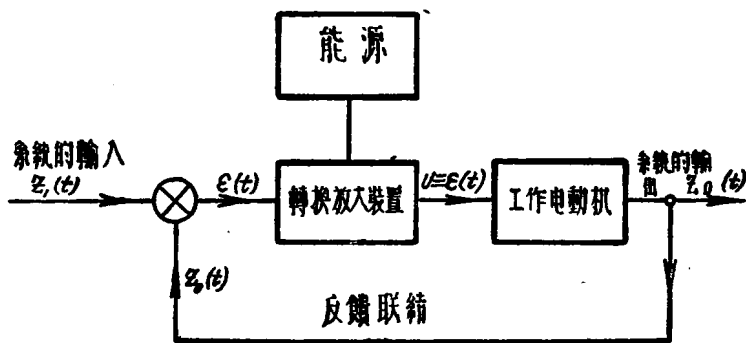
由此可見，同步跟隨系統是閉迴的運動系統，是相互以適當方式聯系着的各種裝置和原件的整體。

其中主要者如下：

1. 輸入原件或輸入裝置，其作用是向系統送進參據作用。
2. 輸出裝置。它按照輸入元件而動作。
3. 測量原件，量出跟隨系統的誤差，即輸入和輸出量之間的代數差。
4. 反饋聯結，把跟隨系統的輸出量反饋到測量元件的輸入端上。
5. 轉換及放大裝置，用於放大該系統的誤差並把誤差轉換成便於送到拖動電機或任何其他輸出裝置輸入端上的量。

根據跟隨系統的用途和對它動態性質提出的要求，除了上述幾種主要裝置之外，還可以應用一些輔助裝置，如各種改善系統工作的並聯電路和鎮定環節。

顯而易見，在 1-1 圖中以簡化形式表示的同步跟隨系統可以繪成方框圖如(1-2 圖)。



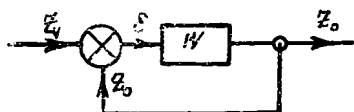
1-2 圖

流入拖動電機輸入端的能量是從能源取得的，流進能量的控制是根據跟隨系統誤差的數量自動地進行的。

於是作出以下定義：

同步跟隨系統是控制能源的裝置，在其中輸入量和輸出量之間自動而連續地保持一定的符合一致的關係，並且用兩量之差來控制能源。

反饋聯結是跟隨系統的主要元件，它使角差（即誤差）消除或減少。當反饋聯結存在的時候測量元件的輸出訊號（誤差）走過全系統，再經過反饋聯結回到測量元件的輸入端。從圖上可以看出電位器和放大器以及能源的功用，它歸根結底是要把系統的誤差轉換成便於作為拖動電機輸入的量。把他們和拖動電動機合併成一個方框，就得到同步跟隨系統的結構圖（1-3 圖）。



1-3 圖

這一結構圖對於其他許多構造不同而更複雜的系統亦可推廣應用。

作為一個例子，我們看一看雷達站天線位置指示和控制設備的方框圖（1-4 圖），這些材料取自 1951 年蘇聯國防出版社“無線電定位技術基礎”卷二一書中*。

本圖包含明確表示而又本質上獨立的兩個系統：天線位置指示系統和控制系統。

指示系統是用來傳送天線轉動的角度到計算方向的刻度上去的，他的線路足夠簡單，在這裏我們不去注意他。第二個系統是用來控制天線位置的。它是同步跟隨系統，這系統的自整角發送器把操縱盤轉動的角度轉換成加到自整角接收器輸入端上的電壓。自整角

* “Основы радиолокационной техники”, том II. Оборонгиз. 1951 г.

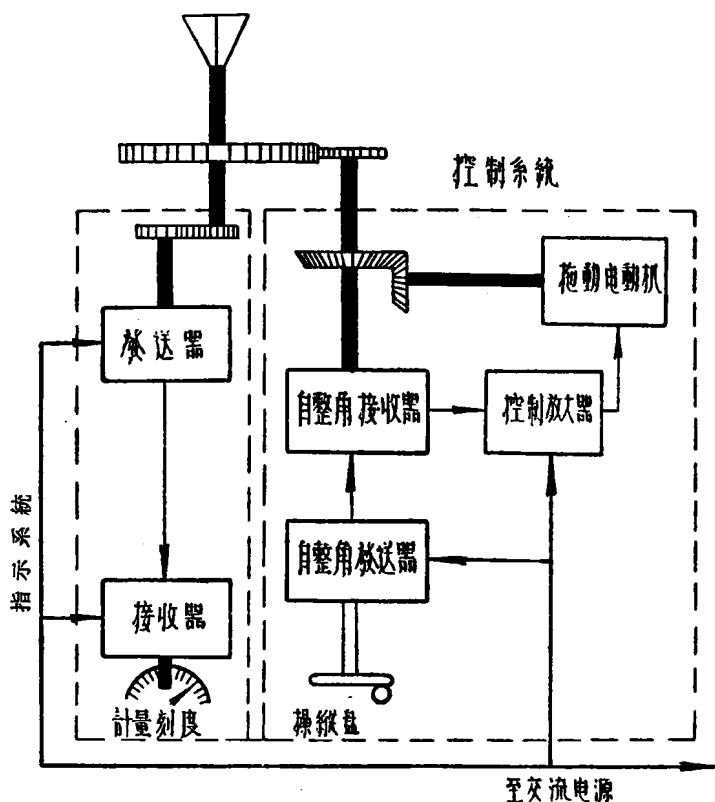


圖 1-4

接收器把操縱盤位置跟天線的位置比較，因而起系統中測量元件的作用。在它的輸出端所發出的電壓與誤差成正比例。這一電壓經控制放大器昇高後饋到拖動電動機。拖動電機經過齒輪傳動系統把天線轉至由操縱盤所給定的角度。

作為反饋聯結的是聯接傘齒輪與自整角接收器轉子的機械軸。

這種系統可以用簡化形式的結構圖表示(圖 1-5)。其中輸入量是加在自整角接收器上的自整角發送器輸出電壓，而系統之輸出量