

基本馆藏

10136

電機自動調整原理

蘇聯 姆·維·麥耶羅夫著

王 衆 託譯



燃料工業出版社

0
4016

500

5/4016

K7

電機自動調整原理

蘇聯 姆·維·麥耶羅夫著

王 業 託譯

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書主要研究應用於電機調整方面的自動調整理論基礎。書中當作調整對象來研究的是電動機和發電機，在電動機中要調整的是旋轉角度或轉速，在發電機中要調整的是電壓。

本書可供高等工業學校電機系學生和廠礦電機工程人員參考之用。

* *

*

電 機 自 動 調 整 原 理

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)
1952年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯M. B. МЕЕРОВ著

王 衆 譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街德計口聚和

北京市書刊出版營業許可證出字第019號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：杜全恩 校對：周金英

書號279 * 電121 * 850 × 1093 1/32開本 * 64印張 * 152千字 * 定價11,000元

一九五四年十月北京第一版第一次印刷(1—5,300冊)

原 序

在各種工業和技術領域中，自動調整應用得很廣泛，因此就有必要研究出能在工程上應用的調整系統研究法及其主要參數的選擇法，以便利用簡單的方法而能保證滿足對系統所提出的要求。這個問題要由自動調整理論來解決。

古典自動調整理論是維什涅格拉斯基所創立的，在俄國和蘇聯的學者的作品中又得到了應有的延續。蘇聯科學院院士安得洛諾夫，通訊院士沃斯聶辛斯基和他們的學生、調整理論中的週率法的創始者米哈依洛夫以及其他學者的成就，在自動調整理論上作出了巨大的貢獻。庫列巴金院士所奠定的電機激磁動力學的理論基礎，對於電機調整來說是有極其重大的意義的，這些成就乃是近代調整理論的基礎。

現代的調整理論使我們能够正確地處理選擇線路、鑑定個別參數對穩定性的影響以及調整系統其他特性的問題。可惜的是在解決實際問題時，現代調整理論的成就並不是經常應用的。作者認為其原因在於：目前雜誌上所發表的有關自動調整理論的大量文獻，因其所用數學工具的複雜性而很少能為廣大的工程技術人員所接受。同時，由於問題的複雜性而不得不採用的數學工具，却業已超出高等工業學校數學課程的範圍。

本書是作者把連續作用的線性調整系統的理論以多數工程技術人員所能接受的形式來闡述的初次嘗試。作者認為，如果把調整的基本理論應用於具體調整對象，並用具體例子來說明，上述目的是可以達到的。

在本書中，當作調整對象來研究的是電動機和發電機，在電動機中，要調整的是旋轉角度或者轉速，在發電機中，要調整的是電壓。

現代自動調整理論在解決自動化電力傳動問題方面起着極其

重要的作用。其中首先應該提到的是隨動系統。要想提高穩態準確度，勢必要增加放大係數，而放大係數的增高會引起不穩定。在研究角度誤差時，重要問題在於不允許超調量過大或擺動時間太長，但是，不祇是在隨動系統中才產生這種問題。

現代的自動化電力傳動系統除了要控制啓動、制動和倒轉外，還需要自動調整許多數量。就像在可倒轉的軋鋼機的電動機控制系統中，當軋軋是單獨傳動時，必須保持軋軋表面上的線速度為恒定值。在冷軋機中，除了其他運用情況外，還一定要在極大的準確度上自動調整鋼條的張力，保證其為恒定值。這些系統的特徵是放大係數極大，並且具有負載力矩隨時變化的連續擾動。這種例子是不勝枚舉的。而這些問題的解決便牽涉到自動調整理論中閉環系統的動態特性的鑑定問題。

在電力傳動設備中，隨着電機自動裝置的廣泛應用，隨着連續控制系統的發展，隨着閉環作用系統的發展，自動調整問題也更突出。

從事於自動化電力傳動的科學研究工作者和工程設計人員，總是要碰到一些應用現代自動調整理論中的方法便容易解決的問題。從這些問題中首先應該提出來的是(a)自動調整系統結構方式的選擇；(b)自動調整過程的穩定性與素質的研究；(c)為使調整過程的特性能夠保證適合我們的要求時系統主要參數的選擇。

從上面談到的這些問題可以看出：自動調整理論中所能解決的問題對於自動化電力傳動來說有多麼重大的意義。儘管本書不能完全回答上面提出來的所有問題，但作者仍然希望在解決這些問題時，本書能夠起一定的作用。

本書由於篇幅所限，不可能包括關於按特徵方程式的根的分佈和按積分鑑定法來鑑定過渡歷程的部分。

希望讀者對於本書的內容和闡述方式多加指正，作者無任銘感。

作者識

目 錄

原 序	
緒 論	5
第一章 自動調整系統的元件	8
1-1. 調整對象	8
1-2. 量測元件	15
1-3. 放大器	25
1-4. 調整機構	29
第二章 自動調整系統的典型環節與結構圖	29
2-1. 弛放環節	30
2-2. 振盪環節	34
2-3. 積分環節	39
2-4. 自動調整系統的結構圖	40
2-5. 調整的定位度和準確度	43
第三章 自動調整系統的穩定性	47
3-1. 饒斯-胡維茨穩定準則	50
3-2. 應用饒斯-胡維茨準則來研究調整系統穩定性	55
3-3. 幅相準則	57
3-4. 例	63
3-5. 米哈依洛夫穩定準則	66
3-6. 綜合穩定準則 (聶馬克所建議的R域法)	70
3-7. 非週期性穩定準則	78
3-8. 維什涅格拉斯基曲線	80
第四章 鎖定裝置	84
4-1. 利用電子管閘流管電壓調整器來調整直流發電機電壓	84
4-2. 單環系統的某些特性	90
4-3. 自動調整系統鎖定之一例	92
4-4. 電學鎖定環節的某些類型	97
4-5. 隨動系統鎖定之一例	100
第五章 自動調整系統的素質	104
5-1. 穩定度	105

5-2. 穩定度應用舉例.....	108
5-3. 週率法.....	109
5-4. 按週率特性來決定系統的性質.....	119
5-5. 閉環自動調整系統的週率特性曲線繪製法.....	123
5-6. 自動調整系統素質按 Ω 域邊界所作的預斷以及 系統總放大係數的選擇.....	125
5-7. 利用以任何參數 τ 為根據的 Ω 域邊界來鑑定自動 調整系統的素質.....	128
5-8. 調整過程的近似計算.....	135
第六章 構成自動調整系統的一些原則	138
6-1. 問題的提出.....	138
6-2. 由 N 個弛放環節和一個鎮定環節所組成的自動 調整系統.....	141
6-3. 鎮定環節應用於由三個或四個弛放環節組成的系統.....	145
6-4. 一般型式的鎮定環節接到 N 個弛放環節所組成 的系統上的情形.....	151
6-5. 決定被回饋所跨接的環節之放大係數值的變化界限.....	153
第七章 調整系統計算舉例	157
7-1. 調整系統主要元件的選擇.....	158
7-2. 調整系統的結構圖.....	158
7-3. 總放大係數的選擇, 調整過程的預斷.....	161
7-4. 過渡歷程的繪製.....	164
7-5. 鎮定環節的時間常數的選擇舉例.....	165
附 錄	174

緒 論

我們最好用一個具體的例子來說明自動調整系統的特點。先來研究一個他激直流發電機 I' ，它以恒定速度被帶動旋轉，向負載 R_N 供電（如圖 B-1）。現在要求自動地保持發電機的電壓不隨負載的大小發生變化。如果激磁電壓與發電機激磁電路中的電阻都是恒定值，那末正如我們從電機理論中所知道的，當負載變化時，端電壓 U_t 將要沿着所謂發電機的外特性曲線而變化（如圖 B-2）。

假設電機在相當於外特性曲線上 M 點的境況下運轉，這時端

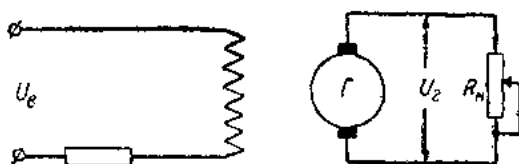


圖 B-1 他激直流發電機線路圖

電壓為 U_N 而負載電流為 I_N （參閱圖 B-2）。然後再假設由於電阻 R_N 改變，負載電流變到 I_1 。按照外特性曲線，這個電流對應的電壓是 U_1 比原來的電壓 U_N 要小。倘若要在新的負載情況 I_1 下把發電機的電壓增加到 U_N 值，就必須使電機在另一條外特性曲線

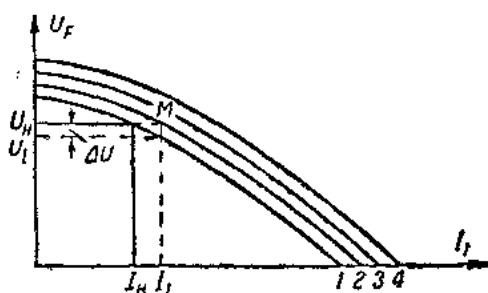


圖 B-2 他激發電機的外特性曲線族

(圖 B-2 中標以 2 者) 上運轉。這條外特性曲線對應於新的激磁電流值，我們或是改變發電機激磁电路中的電阻，或是適當地改變加於激磁电路的電壓，以便得到這新的激磁電流值。

要想自動地保持發電機的電壓恒定不變，就必須建立這樣一個系統：當 U 改變時，這個系統可以使激磁電流改變，因而使電機在對應於已知負載的外特性曲線上工作。

我們把某一種元件聯接到發電機的母線上，這種元件隨時都在量測所調整的量，並且拿它與已知的數值相比較。今後我們把完成這種作用的機構叫作量測元件。

對於我們所研究的這個例子來說，被調整的量是發電機的電壓，我們可以用一個具有反作用彈簧的螺線管 C 來作為量測元件（參閱圖 B-3）。作用於螺線管裏的銜鐵上的電磁力是與被調整的量成正比的。在圖中所示的情況下，電磁力的方向是向上的，它儘量想把銜鐵牽入螺線管。彈簧的作用力與這個力相反，其方向是向下的（彈簧受拉力而起作用）。

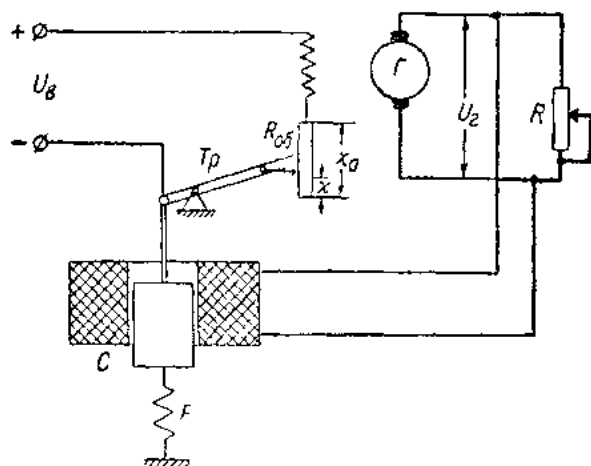


圖 B-3 直流發電機電壓調整的示理圖

在穩定狀態下，當電壓是某一定值時，螺線管的電磁力與彈簧的反作用力相平衡，因而使得螺線管中的銜鐵保持不動。當負載改變時，發電機的電壓發生變化，因而引起螺線管電磁力的變

化。這樣便破壞了銜鐵的平衡，銜鐵因而發生移動，在一個新的銜鐵位置却又達成了系統的平衡。由此可見，電壓從某一定值發生變化時，要引起螺線管中銜鐵位置的改變。

量測元件的直線性的先決條件，是電壓從某一定值發生的變化值與螺線管銜鐵位置的變化值之間存在着單值比例關係。要想使電壓總能恢復到某一定值，就必須適當地改變發電機的激磁電流。要想這樣，只要把螺線管的銜鐵與系統的下一個元件適當聯接，使得銜鐵的移動可以引起發電機的激磁電流的應有的改變。這種元件叫作調整機構。在圖B-3所示的例子裏，槓桿 T_p 就是調整機構，它的移動可以使發電機激磁電路中的電阻發生變化。

調整對象、量測元件、調整機構這三種東西是任何自動調整系統中都有的，如果缺少其中之一，系統便不再成其為自動調整系統了。因此我們把上述三種元件稱為自動調整系統的基本元件。

通常量測元件所發出的力還不足以使調整機構發生動作。在這種情況下，要在量測元件與調整機構之間加一個放大器。這種系統叫作非直接作用系統。

應該注意到我們所研究的這種調整系統的例子在本質上的特點，這種特點在其他任何自動調整系統中也都具備。不難看出，在這種系統中存在着一個閉合的作用電路。事實上，被調整的量（發電機的電壓）的變化引起量測元件（螺線管的銜鐵）的動作；量測元件移動時，又帶動調整機構（槓桿）；調整機構位置的改變又使被調整的量發生變化，這樣就形成了一個作用的閉合環路。因此，自動調整系統是一種沿閉合環路起作用的系統。

自動調整系統的元件通常具有一種特性，就是當它們串聯時，作用電路中後一元件對前一元件的影響是極其微小的。這種調整電路元件的反影響一般都忽略不計，而只認為它們是單向作用的。

所以，在我們所討論的例子裏，螺線管對發電機是不會有任何直接影響的。

要想研究自動調整系統，必需首先研究構成系統的各元件的性能。

第一章 自動調整系統的元件

1-1. 調整對象

我們先來研究他激直流發電機，把它當作調整對象的第一個例子，其中被調整的量是電樞端電壓。

發電機電樞端電壓的調整可藉改變激磁電流的方法以達成。而後者又可藉改變激磁繞組的端電壓以得到。

爲了今後敘述方便起見，我們要引用一些在現代自動調整理論中廣泛使用的概念。我們把作用於某一元件的輸入端的量叫做輸入量，把相應的作用於輸出端的量叫作輸出量。對於上述情況來說，輸入量是激磁電壓，輸出量是電樞端電壓。

調整線路裏的元件的特性，將完全決定於表示輸出量與輸入量在任何時刻內的關係的方程式。在一般情況下，這種關係可用微分方程式來表示。現在，我們要求出：當被調整的是他激直流發電機的電樞端電壓時，輸出量與輸入量之間的關係。

假設激磁電壓隨時間按下列規律變化：

$$u_g = u_g(t).$$

發電機激磁電路裏的電感和電阻分別用 L 和 R 來表示。對於激磁電路來說，電的平衡方程式可以寫作：

$$L \frac{di_g}{dt} + Ri_g = u_g(t), \quad (1-1)$$

式中 i_g 是激磁電路中的電流。

以符號 p 來表示微分運算 $\frac{d}{dt}$ ，這時，方程式 (1-1) 的形式爲：

$$Lpi_g + Ri_g = u_g(t). \quad (1-2)$$

在某些條件下， p 這個量可以作爲代數學上的量來運算，這樣就使得推求整個系統或各個元件的特徵方程式的手續大爲簡

化^①。

這時， i_0 就可以移至括號外，而方程式 (1-2) 可寫作：

$$(Lp + R)i_0 = u_0(t). \quad (1-3)$$

對於磁化曲線的直線部分來說，發電機的電樞端電壓由下式決定：

$$u_i = K' i_0, \quad (1-4)$$

式中 $K' = \tan \alpha$ 是磁化曲線起始部分的斜率（參閱圖 1-1）。

從 (1-3) 和 (1-4) 式中銷去 i_0 ，得：

$$(R + Lp)u_i(t) = K'u_0(t). \quad (1-5)$$

方程式 (1-5) 除以 R ，並使 $\frac{L}{R} = T$ ， $\frac{K'}{R} = K$ ，可得：

$$(1 + Tp)u_i(t) = Ku_0(t)$$

或

$$\frac{u_i(t)}{u_0(t)} = \frac{K}{1 + Tp}. \quad (1-6)$$

我們把方程式 (1-6) 叫作我們所研究的這種調整對象的運算子方程式。

在這個方程式裏， T 這個量具有時間的因次，因而稱為時間

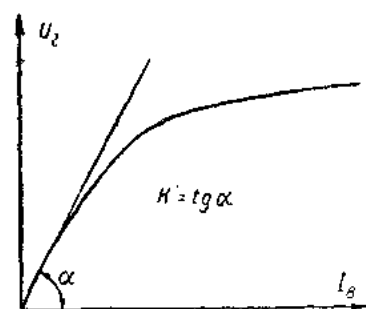


圖 1-1 發電機空載特性曲線

常數；而 K 由在穩定狀態下的輸出量與輸入量的比來決定，因此稱為系統中該元件的放大係數。

現在，再來研究用作調整對象的他激直流電動機，電動機的轉速可以利用變換加於電樞上的電壓的方法來調整，而激磁磁通保持不變。

在這種情形下，我們所研究的系統元件的輸入量是電動機的端電壓 u ，而輸出量是它的轉速 n 。我們現在要找出表示這些量

① 今後當這種用法是不許可的時候，一定會加以適當說明（請讀者務須注意，作者在本書中是不打算引用「運算微積」這種數學工具的，在這裏， p 只是一個算符，請不要把它與運算微積混為一談。——譯者）

之間的關係的電動機的運算子方程式來。

大家都知道，電動機的動平衡方程式可以寫作：

$$\frac{GD^2}{375}pn = M_a - M_c, \quad (1-7)$$

式中 GD^2 是旋轉部分的飛輪轉矩；

M_a 是電動機的旋轉力矩；

M_c 是阻止旋轉的力矩。

電動機的旋轉力矩可以用下列方程式表示：

$$M_a = C_M \Phi I_R, \quad (1-8)$$

式中 C_M 是電動機的力矩常數；

Φ 是電動機的磁通（在這種情形下，為一恒量）；

I_R 是電動機的電樞電流。

在各種情況下，阻力力矩的特性需依電動機在工作過程中的條件和功用而定。因此，要想找出決定電動機本身特性的方程式，可認為 $M_c = 0$ 。在各具體情況下，阻力力矩的計算可用所謂負載方程式來決定。

在上述條件下，方程式(1-7)在考慮到方程式(1-8)以後可以寫作：

$$\frac{GD^2}{375}pn = C_M \Phi I_R. \quad (1-9)$$

這時候，電樞電路的電的平衡方程式為：

$$u = e + L_R p i_R + R_A i_R; \quad (1-10)$$

式中 u 為電動機的電樞端電壓；

e 為電動機電樞中的感應電動勢；

L_R 與 R_A 分別為電動機電樞電路中的電感和電阻。

電動機的反電動勢可以用磁通和轉速表示如下：

$$e = C_e \Phi n, \quad (1-11)$$

式中 C_e 是電動機的常數；

n 是電動機的轉速。

從(1-9)式和(1-10)式中銷去電流 I_R ，並考慮到(1-11)

式，我們可以求得電動機的運算子方程式如下：

$$(T_M T_R p^2 + T_M p + 1)n = Ku, \quad (1-12)$$

式中 $T_M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{R_R}{C_M C_e \Phi^2}$ 是電動機的電力時間常數，具有時間的因次；

$T_R = \frac{I_{\phi R}}{R_R}$ 是電動機電樞電路的時間常數；

$K = \frac{1}{C_e \Phi}$ 為放大係數，即輸出量 n 與輸入量 u 兩者穩定值的比。

方程式 (1-12) 給出了輸出量——電動機的轉速與輸入量——電樞端電壓之間的關係。通常我們把運算子方程式作為輸出量與輸入量的比而求得，並且把它寫作：

$$\frac{n}{u} = \frac{K}{T_M T_R p^2 + T_M p + 1}. \quad (1-13)$$

現在，設令輸出量不是轉速，而是電動機的軸所轉的角度。那末，當考慮到下式時

$$n = p\varphi, \quad (1-14)$$

方程式(1-12)可以寫作：

$$(T_M T_R p^2 + T_M p + 1)p\varphi = Ku \quad (1-15)$$

而

$$\frac{\varphi}{u} = \frac{K}{(T_M T_R p^2 + T_M p + 1)p}, \quad (1-16)$$

此處 φ 為電動機的軸所轉的角度。

如果把電動機電樞電路的時間常數忽略不計，也就是說使 $T_R = 0$ ，那末我們可以得到：

$$\frac{n}{u} = \frac{K}{T_M p + 1} \quad (1-17)$$

而

$$\frac{\varphi}{u} = \frac{K}{(T_M p + 1)p}. \quad (1-17')$$

這便是電動機在這種情況下的運算子方程式。

現在，我們再求電動機利用改變激磁磁通的方法來調整轉速時的運算子方程式。假使這時電樞端電壓保持恒定不變。

動力平衡方程式可以寫作

$$\frac{GD^2}{375}pn = C_M \Phi i_A.$$

這和用改變電樞端電壓的方法以調整轉速時是一樣的。但是不同的地方是此處磁通是變量。在過渡狀態下，電樞電流也是變量。因此，即便認為電動機的磁化特性曲線是直線，而方程式(1-9)仍是非直線性的，因為在這個方程式中引入了變量 Φ 與 i_A 的乘積。

關於非直線性系統的研究業已超出本書範圍。這裏我們用一些已知的方法，這些方法使我們有可能在某些條件下得到線性近似的方程式。

假設在穩定狀態下磁通值為 Φ_0 ，樞電流的值為 I_{A0} ，轉速為 n_0 。再假使激磁電壓 u_d 發生了極小的變化 Δu_d ，因此使得磁通變了 $\Delta\Phi$ 而樞電流變了 Δi_A 。這時，動力平衡方程式可寫成：

$$\begin{aligned} \frac{GD^2}{375}p(n_0 + \Delta n) &= C_M(\Phi_0 + \Delta\Phi)(I_{A0} + \Delta i_A) \\ &= C_M\Phi_0 I_{A0} + C_M\Phi_0 \Delta i_A + C_M I_{A0} \Delta\Phi + C_M \Delta\Phi \Delta i_A. \end{aligned}$$

考慮到 $C_M\Phi_0 I_{A0}$ 是用來補償穩定狀態下的損失的力矩，並且忽略二次方的小數量($C_M \Delta\Phi \Delta i_A \approx 0$)，可得線性近似方程式如下：

$$\frac{GD^2}{375}p\Delta n = C_M\Phi_0 \Delta i_A + C_M I_{A0} \Delta\Phi. \quad (1-18)$$

再求電流的變化量 Δi_A 和磁通的變化量 $\Delta\Phi$ 。

當電樞端電壓不變時，電流發生 Δi_A 變化的先決條件是電動機的電樞電動勢因轉速變了 Δn ，磁通變了 $\Delta\Phi$ 而發生的改變。因此，電流的變化可由下列方程式來決定：

$$\Delta I_A = - \frac{C_e \Phi_0 \Delta n + C_e n_0 \Delta\Phi}{L_A p + R_A}. \quad (1-19)$$

磁通發生了 $\Delta\Phi$ 的變化，是由於激磁電壓改變了 Δu_g 所引起的，又因為：

$$\Delta u_g = R_g \Delta i_g + L_g p \Delta i_g,$$

所以

$$\Delta\Phi = C \Delta i_g = \frac{C \Delta u_g}{L_g p + R_g}; \quad (1-20)$$

其中 C 為係數，依電動機導磁體的構造、鐵磁材料的特性和激磁繞組的匝數而定。對於一定的電動機來說，可以認為 C 是常數。

把(1-19)和(1-20)式中的 ΔI_R 和 $\Delta\Phi$ 值代入(1-18)式，可得：

$$\begin{aligned} \frac{GD^2}{375} p (L_R p + R_R) (I_g p + R_g) \Delta n + C_M C_e \Phi_0^2 (L_g p + R_g) \Delta n \\ = [C_M I_{R0} C (L_R p + R_R) - C_M C_e \Phi_0 n_0 C] \Delta u_g. \end{aligned}$$

如果引用下列符號：

$$\frac{L_R}{R_R} = T'_R \quad \text{為電動機激磁電路的時間常數；}$$

$$\frac{L_g}{R_g} = T'_g \quad \text{為電動機電樞電路的時間常數；}$$

$$\frac{GD^2}{375} \frac{R_R}{C_M C_e \Phi_0^2} = T_M \quad \text{為電動機的電力時間常數；}$$

$$\frac{R_R}{R_g} \frac{C}{C_e} \frac{I_{R0}}{\Phi_0^2} = K \quad \text{為放大係數。}$$

在簡單的變換後，當改變激磁磁通來調速時可得電動機的運算子方程式如下：

$$(T_g p + 1)(T_M T'_R p^2 + T'_M p + 1) \Delta n = K(1 + T'_R p) \Delta u_g - \frac{n_0 C}{\Phi_0 R_g} \Delta u_g$$

或

$$\frac{\Delta n}{\Delta u_g} = \frac{K(1 + T'_R p) - \frac{C n_0}{\Phi_0 R_g}}{(T_M T'_R p^2 + T'_M p + 1)(T_g p + 1)} \quad (1-21)$$

如果被調整的是機軸所旋轉的角度，那末，在考慮到(1-14)式時，可得出下列運算子方程式：

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta u_\theta} = \frac{K(1+T'_\pi p) - \frac{Cn_0}{\Phi_0 R_a}}{(1+T'_\theta p)(T'_\pi T'_\pi p^2 + T'_\pi p + 1)p} \quad (1-22)$$

倘若忽略電樞電路的時間常數 T'_π ，那末運算子方程式(1-21)和(1-22)將為：

$$\frac{\Delta n}{\Delta u_\theta} = \frac{K - \frac{Cn_0}{\Phi_0 R_a}}{(1+T'_\theta p)(1+T'_\pi p)}$$

和

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta u_\theta} = \frac{K - \frac{Cn_0}{\Phi_0 R_a}}{(1+T'_\theta p)(1+T'_\pi p)p}$$

如果把在調整樞電壓的情況下所得的方程式，和在調整電動機激磁磁通的情況下所得的方程式拿來比較一下，可以看出：在後一種情況下，求得電動機的運算子方程式是比較麻煩的。

其所以如此，是由於在後面這一種情況下，不僅要考慮機械方面的過渡歷程和電動機樞電路在電的方面的過渡歷程，同時還要考慮在激磁電路中電的方面的過渡歷程的緣故，此外，在前一種情形下，放大係數的值決定於激磁磁通的額定值，而與樞電流的大小無關；可是在後一種情況下，放大係數既與 I_{r0} 有關，又與磁通的值 Φ_0 有關。

我們所研究的這種調整對象的運算子方程式（其他各種元件的運算子方程式也一樣），其物理意義可用下列簡單的見解來解釋：如果所研究的調整對象裏並沒有儲能場所（這種儲能場所中可以發生儲能量的改變^①），那末，輸入量與輸出量之間在任何時刻都存在著單值、正比的關係，而比例常數等於放大係數。

儲能場所的存在使得輸出量與輸入量間的關係是一個時間函數，其特性首先決定於元件的參數（時間常數、放大係數），其

① 能量可以積蓄在電容、電感、運動着的物體和彈簧等等之中。