

电子调整器

Г. В. 馬依奧洛夫 著



國防工業出版社

电子调整器

Ф.В.馬依奧路夫著

桂宝康譯



國防工業出版社

內 容 簡 介

本書系論述連續式和斷續式電子調整器的元件和組件，書內并列舉了許多調整電氣量與非電氣量的電子調整器的最新實用線路。

本書可供從事自動調整工作的工程技術人員作參考用。

蘇聯 Ф. В. Майоров 著 ‘Электронные регуляторы’
Государственное издательство технико-теоретической
литературы (1956 年第一版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ · 15 $\frac{1}{2}$ 印張 · 320 千字

1959 年 3 月第一版

1959 年 3 月第一次印刷

印數：0,001—5,400 冊 · 定價：(11) 2.40 元

NO. 2595

目 录

序言	7
----------	---

第一編 电子調整器的元件与組件

第一章 电子調整器的一般性質与机构	9
§ 1-1 調整器的結構圖	9
§ 1-2 函数調整器	14
§ 1-3 連續式調整器	16
§ 1-4 断續式調整器	20
第二章 电子調整器的放大器与变换器	26
§ 2-1 放大器的类型及其应用	26
§ 2-2 直流电压的放大	31
§ 2-3 并联平衡級	33
§ 2-4 串联平衡級	37
§ 2-5 减法綫路	40
§ 2-6 带有变换器的放大器	46
§ 2-7 电子变换器 (調制器)	51
§ 2-8 二極管相位鑒別器 (鑒頻器)	57
§ 2-9 三極管相位鑒別器 (相敏放大器)	60
§ 2-10 倒相綫路	68
§ 2-11 移相綫路	71
§ 2-12 負反饋对放大的穩定作用	76
§ 2-13 并联反饋	84
§ 2-14 正反饋在放大器中的应用	86
第三章 电动机的控制	91
§ 3-1 电动机的控制方法	91

§ 3-2	利用电子放大器对电动机的控制	91
§ 3-3	电子-继电器控制线路	95
§ 3-4	按直流讯号控制直流电动机的闸流管线路	100
§ 3-5	按交流讯号控制电动机的闸流管线路	108
§ 3-6	电动机的相位控制	112
§ 3-7	利用磁放大器与电机放大器对电动机的控制	116
§ 3-8	直流锁定回路	120
§ 3-9	交流锁定回路	125
§ 3-10	调整动态误差的减小	128
第四章	断续式调整器的元件与组件	132
§ 4-1	触发单元	132
§ 4-2	晶体三极管触发线路	139
§ 4-3	电子开关	148
§ 4-4	电子换接开关	156
§ 4-5	动态触发器	162
§ 4-6	电子计数器	166
§ 4-7	比较线路	179
§ 4-8	连续量到断续量的变换与断续量到连续量的变换	194
§ 4-9	脉冲与数目代码的记录	206
§ 4-10	应用磁性记录的电子计数器	210
第五章	调整器的电子函数元件	215
§ 5-1	函数元件在调整器中的应用	215
§ 5-2	电压的相加	216
§ 5-3	电压的相乘	225
§ 5-4	平方元件	234
§ 5-5	电压的微分	239
§ 5-6	电压的积分	245
§ 5-7	函数变换器	250

§ 5-8	应用整流器的函数变换器	259
§ 5-9	图示函数装置	263
§ 5-10	断续式函数变换器	266

第二編 物理量的調整

第六章	位移調整器 (随动系統)	274
§ 6-1	随动系統的类型	274
§ 6-2	自整角机式随动系統	277
§ 6-3	磁整步-自整角机式随动系統	286
§ 6-4	带有电子放大器与磁放大器的随动系統	290
§ 6-5	粗計与精計随动系統	297
§ 6-6	电子-繼电器式随动系統	307
§ 6-7	数字随动系統	314
第七章	速度調整器	328
§ 7-1	速度調整原理	328
§ 7-2	速度調整器的測量元件	332
§ 7-3	直流电动机的速度調整	336
§ 7-4	交流电动机的速度調整	343
§ 7-5	应用交流測速發電机的速度調整	347
§ 7-6	大功率电动机的速度調整	350
§ 7-7	应用繼电器的速度調整	358
§ 7-8	速度調整器在对电压和位移积分时的应用	361
§ 7-9	断续式速度調整器	370
第八章	电压調整器	374
§ 8-1	电压調整器的类型	374
§ 8-2	电压調整器的測量元件	376
§ 8-3	大功率發電机的电压調整	379
§ 8-4	光电式电压調整器	384
§ 8-5	高精确度的电压調整器	386

第九章 頻率調整器	390
§9-1 頻率調整的方法	390
§9-2 頻率調整器的測量元件	394
§9-3 大功率交流發電機的頻率調整	399
§9-4 按偏差的積分而動作的頻率調整器	408
§9-5 斷續式頻率調整器。分頻器	410
第十章 溫度、濃度、顏色、流量、液位與其他量值的 調整器	420
§10-1 溫度調整器的類型	420
§10-2 電子電橋與電子電位差計	421
§10-3 位置式溫度調整器	426
§10-4 比例溫度調整器	427
§10-5 全蘇熱工研究所的電子調整器	429
§10-6 光電溫度調整器	434
§10-7 中央自動裝置研究室的光電調整器	439
§10-8 比色光電調整器	442
§10-9 濃度與顏色的光電調整器	445
§10-10 應用光控繼電器的調整器	450
§10-11 液體的液位與流量調整器	452
§10-12 間隔時間調整器	456
§10-13 仿型機床的調整	459
第十一章 調整器的電子模擬裝置	464
§11-1 模擬方法	464
§11-2 微分方程式的求解方法	466
§11-3 綫性調整器的模擬	471
§11-4 非綫性調整器的模擬	476
§11-5 應用實際調整器的模擬	484
參考文獻	488

序 言

本書系論述电子学在对各种物理量和参数作自动調整时的应用。諸如此类的装置都称之为电子調整器。

全書計分为两編。第一編主要系研究电子調整器的元件和組件。第二編系闡述位移、速度、电压、頻率、溫度、液体的液位及流量、濃度等各种物理量的調整綫路。

書內着重地对調整器的电子元件和組件的綫路作了闡述。第二編中所列举的調整器实际綫路，仅为电子調整器的一些典型例子，而并不作很完整的說明。

自动調整的理論問題在本書內則未加研究，因为本書的重点乃是电子綫路；况且有关調整理論方面的專門書籍已出版了很多。

在我們現有的电子学方面的技术書籍中，有关实用电子学的書籍是很少的，而对电子仪器本身及其內部所进行的物理过程則在不少書籍中皆已談到。因而，著者認為：为了縮減本書篇幅，对此类問題不加以討論是可以的。

鑒于数字計算装置和物理量的脉冲測量法及脉冲調整法在現代調整器綫路中愈来愈多地得到应用，故著者对断續式电子調整器的元件和結構試作了一些探討。

著者对审閱本書并提供了許多宝貴意見的技术科学碩士 IO. Д. 拉科辛副教授以及校閱本書的莫斯科工程物理研究所电子学研究室全体同志致以謝忱。

本書第一版中缺點在所難免，著者將竭誠希望讀者提出
批評與要求，俾使此書益臻完善。

著者 Ф. В. 馬依奧洛夫

第一編 电子調整器的元件与組件

第一章 电子調整器的一般性質与机构

§1-1 調整器的結構圖

現代电子調整器系一由各种广泛应用电子学的装置和元件所組成的复杂綜合体。

最簡單的电子調整器是这样的一种調整器：它能根据基准量 A 自动地調整另一量 x ，不論基准量 A 作任何变化，都能使 x 等于 A 。此时調整器犹如“追隨”着量 x 一样，不使其越出量 A 的規定誤差范围。

在特殊情况下，基准量 A 系恒定不变，因而只要求量 x 能在外界各种扰乱因素的影响下也保持不变。此种調整过程遂称之为根据基准量 A 来稳定量 x 的过程。

如要調整器能将物理量 A 及 x 彼此进行比较，則这些量值必須要用某种測量仪表或測量綫路加以測出。

許多物理量：如溫度、压力、速度、机械位移、湿度、液体濃度、光的亮度等可用电气方法加以測量；因而，物理量就能以一定大小的电压来表示。但在某些情况下，亦可不用电气方法加以測量：例如压力用压力計測量，液体或气体容量用机械計数器測量等。在此种情况下，就应采用变换元件

(發送器), 變換元件將被測量值變換成電壓。凡是在需要將物理量自某一形式變換到另一形式的任何場合下, 都要採用變換元件。物理量經變換後, 可以表示成下述各種形式:

1. 與該量值成比例而連續變化的電壓;
2. 在數目上與被測量值成比例的电脉冲; 每一脉冲且相應於該量的一定增量; 被測量值的大小在每一瞬間皆能以脉冲計數器所示的數目來表示;
3. 相應於一段規定時間內被測量值的數目代碼; 數目代碼系經一定間隔時間以脉冲群形式而送入調整器, 此脉冲群也就是數目代碼。

綜上所述, 電子調整器就有兩種類型。

第一類電子調整器系將物理量變換成在幅度、相位或頻率上作連續變化的電壓而起調整作用。此種類型我們將稱之為連續式調整器。

第二類電子調整器系將物理量變換成斷續形式的脉冲數目或數目代碼而起調整作用。此類調整器將稱之為斷續式調整器。

由於調整器的類型不同, 電子管的工作狀態和應用方法也就有根本上的區別。

在第一類調整器中, 電子管主要系用來放大與變換在幅度、相位或頻率上作連續變化的電壓。此時電子管的特性、特性的穩定性以及電子管電源電壓的變化對綫路的工作情況皆有極大的影響。

在第二類調整器中, 電子管系起一種電子門、無觸點開關或繼電器的作用, 它僅有兩種狀態: “關閉”和“開放”。脉

冲电压的幅度在此并无重大影响，只要大致相等即可，而只有脉冲的数目或宽度才能表示一个物理量的特征。

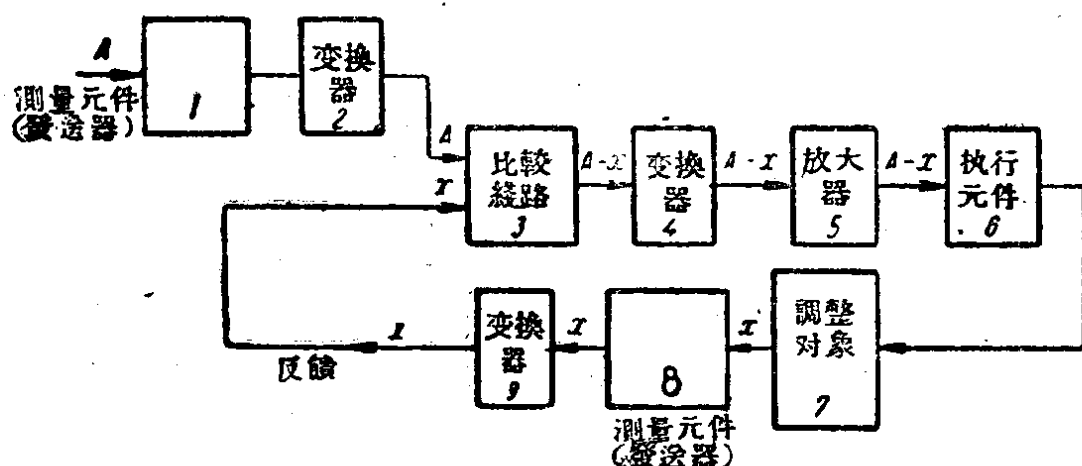


圖 1 調整器方框圖

虽則此两种調整器的类型有所殊异，但可以作出一种通用的結構圖〔文献 1〕。

、現在来研究一下能保持被調整量 x 等于基准量 A 的簡單調整器的結構圖（圖1）。此两个量系用測量元件 1 和 8 測出。所測得的結果經变换器 2 和 9 变换成电压（或脉冲数目，或脉冲代碼）。 A 和 x 两个量經变换后，就在比較綫路 3 內进行比较。比較綫路是一种减法綫路，在其輸出端上能获得一个与 $A - x$ 成比例的量。这些量多半系变换成电压，其幅度、頻率或相位則与被測量值成比例。此时，在比較綫路后的变换器 4 的輸出端上，就輸出一个与此两电压的幅度、頻率或相位之差成比例的电压。最簡單而最常采用的电压幅度比較綫路是一种补偿綫路或桥接綫路，在其零点分支上能获得一个与差值 $A - x$ 成比例的电压。此一較小的电压差称之为失衡电压或調整器的誤差电压。其数值和功率由电子放大

器 5 加以放大。如电子放大器 5 輸出端的功率不足以控制执行元件 6（一种能調整某一調整对象中量 x 的元件）时，則在电子放大器上尚須串接其它类型的放大器（閘流管放大器、磁放大器、机-电放大器）。执行元件通常系采用直流或交流电动机。

現在举两个例子來說明各种不同的調整方法。假定圖 2 中，量 A 是从电位器 Π_1 上取得的电压，而量 x 則是电位器 Π_2 上的电压。此电位器 Π_2 的滑臂能以随动电动机 M 使之移动。如在控制电动机 M 用的电子放大器 V 的輸入端上，加一由补偿式电压比較綫路所輸出的失衡电压 $\Delta U = A - x$ ；則电动机 M 就能根据失衡电压 ΔU 的符号而作正向或反向旋轉，直到差值 $A - x$ 变成零为止。此时，电动机方始停止轉动。如要綫路能正确工作，則当 $A > x$ 时，电动机应使电位器 Π_2 的滑臂向右移动；而当 $A < x$ 时，应使之向左移动。如果将放大器連同电动机及电位器 Π_2 一起視作是一个机-电放大器，而其輸出电压又等于 x 时，則此时电压 x 就是負反饋电压。此种綫路的特点即在于失衡电压 ΔU 在理論上能等于零。同时誤差 ΔU 的大小与电位器的滑臂位置无关，亦即与 A 及 x 无关，而仅与机-电放大器的性能（如放大系数等）有关。此类調整系統称之为无差調整系統。

現在再研究一下另一綫路（圖 3），其中量 A 系一由电位器 Π_1 所規定的电压，而量 x 則是發电机 G 的电压；發电机的电樞与电动机 M 在同一根軸上。

如前一綫路一样，在放大器輸入端上加一电压差 $\Delta U = A - x$ 。此电压經放大器放大后就用来控制电动机 M 。假定

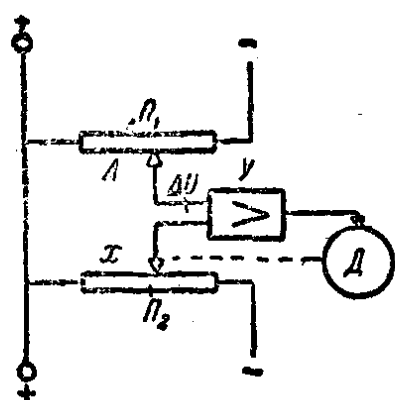


圖2 无差調整器举例

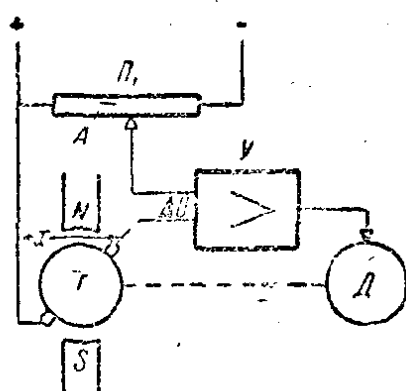


圖3 有差調整器举例

發電機 T 上的電壓與電動機 M 的轉速成比例，同樣電動機的轉速又與放大器輸入端的電壓 ΔU 成比例，則很显然，電壓 ΔU 愈大，對電動機供電的放大器的輸出電壓就愈大，同樣電動機的轉速也愈大。當基準量 A 增大時，發電機 T 就應提高轉速以發出更大的電壓 x 來抵償電壓 A 。然而要達到此目的，就要求放大器輸入端上能有數值更大的失衡電壓 $\Delta U = A - x$ ，以便能提高電動機和發電機的轉速。因而放大器輸入端的失衡電壓 ΔU 在此綫路中就取決於基準量 A 。量 A 愈大，則誤差 ΔU 愈大；量 A 愈小，則誤差 ΔU 也就愈小。只有當 $A = 0$ 時，失衡電壓 ΔU 才可能等於零；而在其它任何情況下，即使在理論上，誤差電壓 ΔU 也不可能等於零；這是因為電壓 ΔU 是要用來保持電動機和發電機的必要轉速的。顯然，誤差的大小一定是與基準量 A 成比例的。當放大器的放大系數很大時，誤差的絕對值 ΔU 如與 A 相比較亦是極小極小的，其最大值還不到 A 值的百分之一。

上述調整系統稱之為有差調整系統，其相對誤差 $\frac{\Delta U}{A}$ 稱之為調整系統的靜差。

在上述綫路內，被調整量 x 与基准量 A 之間具有綫性关系。然而量 x 通常亦应是一个或数个基准量的某种函数。此类調整器遂称之为函数調整器。

§ 1-2 函数調整器

在調整各种生产过程时，必須要作一些比較复杂的技术計算，以便获得生产过程的最佳性能、产品的高度精确度和复杂的形状等。

必要的計算，在調整綫路內是利用專門的解-算裝置来完成的。同样可采用一种能以很高的速度和精确度按規定程序作最复杂的数学运算的数字計算机来完成。

計算裝置實質上是控制和調整生产过程的核心。所有調整过程的原始数据皆匯集于此，然后依靠計算而确定出需要的参数，并由此發出調整此等参数的指令。

对加工煤气透平叶片用的銑床的自动控制，即是利用数字計算机作調整的一个例子（見 § 10-13）。計算机能根据各个基准量进行必要的計算，而算出叶片輪廓上許多点的座标。銑床根据这些輪廓点就能自动地将叶片加工成所要求的形状而不用任何圖紙或样板。現时，利用計算机和其它比較簡單的解-算裝置已經能調整石油提煉厂內化学工业方面的各个生产过程，調整水力發电站，調整高爐操作过程以及采煤工业的各种过程等。

現在研究一下能按給定的定律或給定的方程式而进行調整的函数調整器的結構圖。

假定基准量 A 、 B 、 C 和被調整量 x 、 y 、 z 之間可以用下

列各代数方程式排列起来:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x, y, z, A, B, C) &= 0, \\ f_2(x, y, z, A, B, C) &= 0, \\ f_3(x, y, z, A, B, C) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式中 f_1, f_2, f_3 ——给定函数。

当输入量 A, B, C 有变动时, 调整器应能调整 x, y, z , 使之满足此给定的方程式。

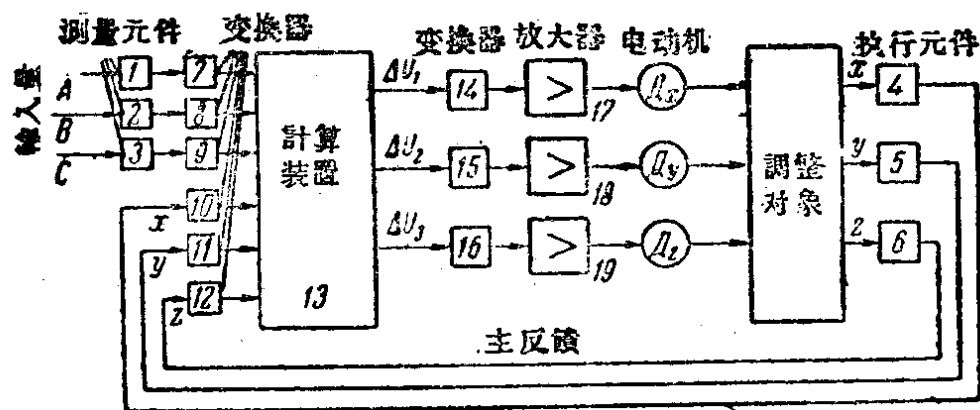


图4 函数调整器方框图

输入量 A, B, C 以及被调整量 x, y, z (与调整对象相联系的) 是以测量元件或发送器 1~6 测出的(图4)。测得的量值, 随所用计算装置类型的不同, 而由变换器 7~12 将其变换成电压、脉冲或数目代码。计算装置 13 就算出方程式 (1.1) 所要求的函数值。

当 x, y, z 值尚未满足方程式 (1.1) 以前, 这些函数是不会等于零的, 因而在调整过程中将得到下列方程式:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x, y, z, A, B, C) &= \Delta U_1, \\ f_2(x, y, z, A, B, C) &= \Delta U_2, \\ f_3(x, y, z, A, B, C) &= \Delta U_3, \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

式中 $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ ——表示函数调整器在调整过程中的误差。此等误差即可利用来调整与被调整对象相联系的参数 x, y, z 。为此, 就得用变换器14~16将 $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ 各量变换成电压。此种变换器只有当 $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ 是从数字计算机出来的脉冲或数字代码形式时才需使用。变换成的电压由电子放大器17~19将其功率加以放大, 再用来控制执行元件(电动机) M_x, M_y, M_z ; 执行元件此时就对调整对象的参数 x, y, z 进行调整。如果此等参数中的某一项参数, 譬如 x , 大于所要求的数值而不能满足方程式(1.1)时, 则电动机 M_x 将向能减小 x 值的方向转动; 反之, 如 x 值小于所要求的数值, 则电动机将向另一方向转动以增大 x 值。

因此, 自计算装置输出端所输出的失衡值 $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ 经放大器放大后, 就能用来调整 x, y, z 各量。同时, x, y, z 各量再回送到计算装置的输入端去作为输入量。此种所谓反馈的方法乃是构成调整器线路的基本原理。

依照方程式(1.1)以电动机 M_x, M_y, M_z 来调整参数 x, y, z 的过程, 极相类似于数学中以逐步近似法来解方程式的演算过程。在此, 不过是利用随动电动机以极大的速度来运用此种方法而已。

§ 1-3 連續式調整器

虽则上面所研究过的调整器结构图, 是連續式和断續式调整器所通用的结构图, 然而每种类型的调整器是各有其特点和具有各种物理作用原理不相同的元件的。

連續式电子调整器, 由于其结构簡單、通用性很大、动