

目 录

§ 1	托架随动系统的功用及作用原理.....	2
§ 2	什么叫做随动系统, 及它的特点.....	6
§ 3	小功率随动系统的组成部份及其方块图.....	7
§ 4	小功率随动系统的典型工作状态.....	11
§ 5	随动系统的品质指标.....	12
§ 6	随动托架系统的运动方程.....	15
§ 7	随动系统稳态误差的分析和计算.....	26
§ 8	传递函数及系统方块图的等效变换.....	33
§ 9	随动托架系统的动态过程及动态品质的分析.....	43
§ 10	随动系统的设计步骤及系统各环节元件的选择.....	67
§ 11	小功率随动系统的设计举例.....	80
§ 12	随动系统的调整和故障检查.....	91
附:		
	习题	96
	托架随动系统动态实验说明	100

目 录

§ 1	托架随动系统的功用及作用原理.....	2
§ 2	什么叫做随动系统, 及它的特点.....	6
§ 3	小功率随动系统的组成部份及其方块图.....	7
§ 4	小功率随动系统的典型工作状态.....	11
§ 5	随动系统的品质指标.....	12
§ 6	随动托架系统的运动方程.....	15
§ 7	随动系统稳态误差的分析和计算.....	26
§ 8	传递函数及系统方块图的等效变换.....	33
§ 9	随动托架系统的动态过程及动态品质的分析.....	43
§ 10	随动系统的设计步骤及系统各环节元件的选择.....	67
§ 11	小功率随动系统的设计举例.....	80
§ 12	随动系统的调整和故障检查.....	91
附:		
	习题	96
	托架随动系统动态实验说明	100

BDP-4 (AED-1) 托架随动系统设计

毛主席教导我们说：“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论”。¹

本章通过 BDP-4 地平仪 (AED-1) 托架随动系统，介绍小功率随动系统的基本概念，以及根据对系统提出的品质指标要求，来学习分析和设计小功率随动系统的方法。

§ 1 托架随动系统的功用及作用原理

BDP-4 是应用在歼击机上的地平仪，随动托架就是保证在飞机作特技飞行时，地平仪能正常工作。在俯仰和倾斜两个方向都能测量 360° 的转角。

随动托架系统是由线性变压器 1，2，放大器 3，电动发电机组 4，5，减速器 6，托架 7，陀螺外环 8 等组成。见图 1。

线性变压器的转子铁心 1 是固定在陀螺内环轴 9 上的，也就是它由陀螺 10 稳定在地垂线位置上，不随飞机的倾斜而倾斜。线性变压器的定子绕组 2 是固定在外环 8 上。

当飞机处在平飞状态时，陀螺的三个轴（自转轴，内环轴，外环轴），相互处于垂直位置。线性变压器的转子铁心正好处在定子绕组的中间位置。如图 2。转子铁心所复盖的定子绕组山形铁心两边的面积相等，流经两边的磁通 ϕ_1 ， ϕ_2 ，也相等，输出绕组的感应电势也相等， $e_1=e_2$ 。我们将两输出绕组反相连接，那么，总的输出电压 U_1 是两个输出绕组的电势差 $U_1=e_1-e_2$ 。因此在转子铁心处在中间位置时，线性变压器的输出电压为零。由此，放大器的输出电压也为零，电机不工作，系统处在平衡状态。

当飞机有倾斜时，带动托架 7，外环 8 和固定在上面的线性变压器定子绕组 2，绕组陀螺内环轴同样倾斜一个角度 γ_0 ，而线性变压器的转子铁心由于陀螺的稳定作用，而不随飞机转动。这样，线性变压器定子和转子

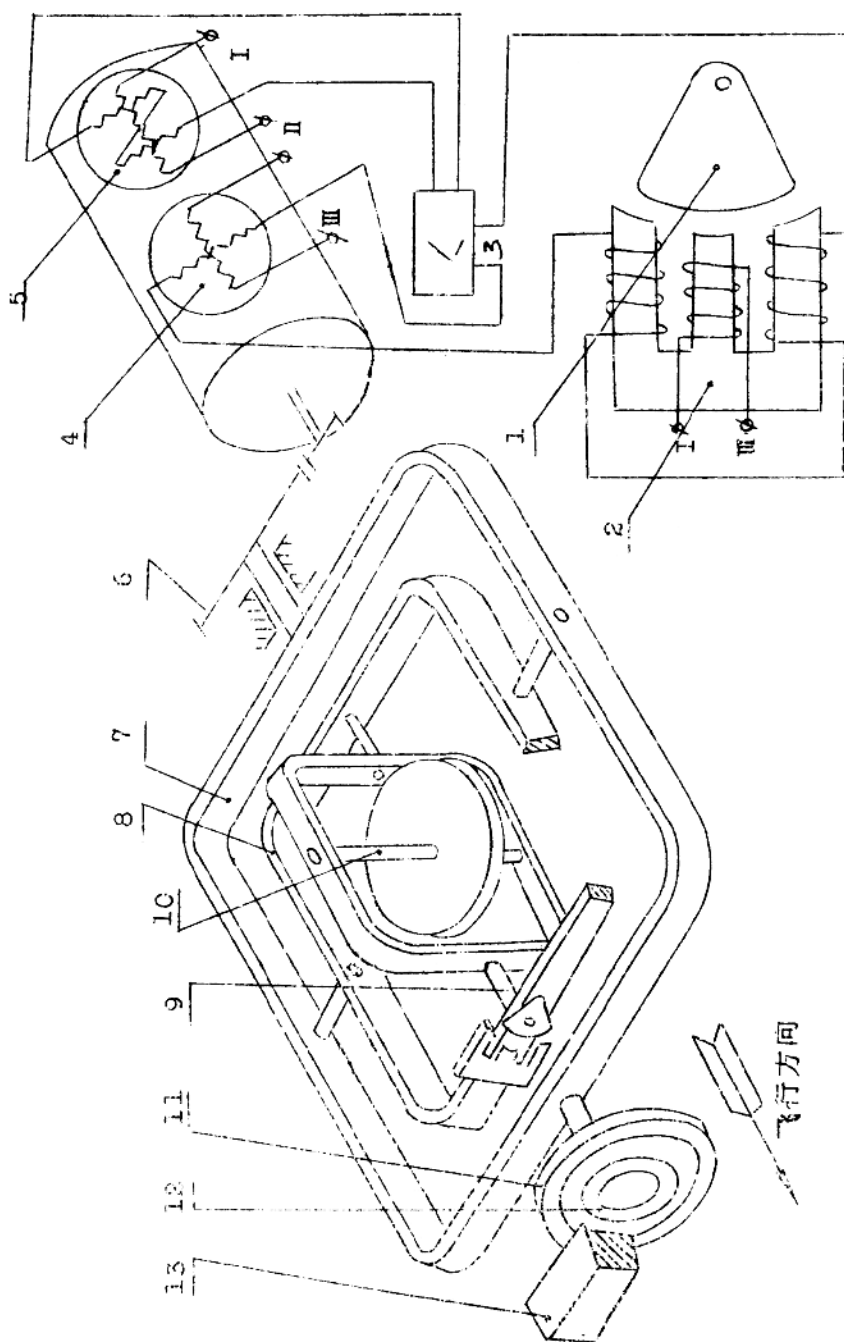


图 1 随动托架示意图

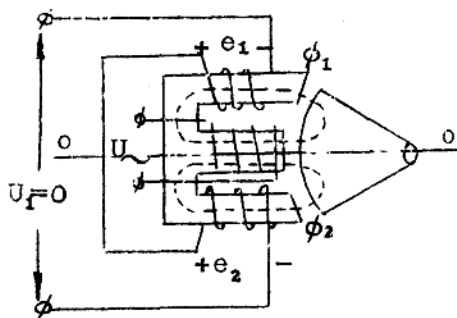


图 2

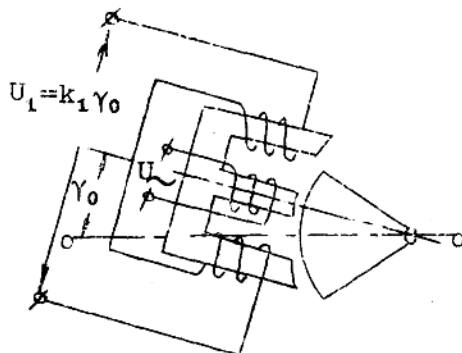


图 3

之間就产生了相对轉角 γ_0 ，如图 3。轉子鉄心所复盖的定子两边的面积一边增大，另一边减少。流经两边的磁通也不相等了。因此，在輸出端就产生了一个輸出电压 U_1 ，它的大小与 γ_0 成比例，相位与 γ_0 的方向相对应。 U_1 经放大器放大后，輸出电压 U_F ，使电动机旋轉，带动减速器 6，使托架 7，外环 8 和定子 2 向飞机倾斜的反方向轉动。这个轉动的角度以 γ 来表示，如图 4。当 $\gamma=\gamma_0$ 时，即 $\Delta\gamma=0$ 。轉子鉄心又回到中間位置，系統重新达到平衡状态，这样，这套随动托架系統就保证了陀螺外环軸与内环軸的垂直，使得飞机作俯仰，傾斜各 360° 之特技飞行时，地平仪仍能正常工作。

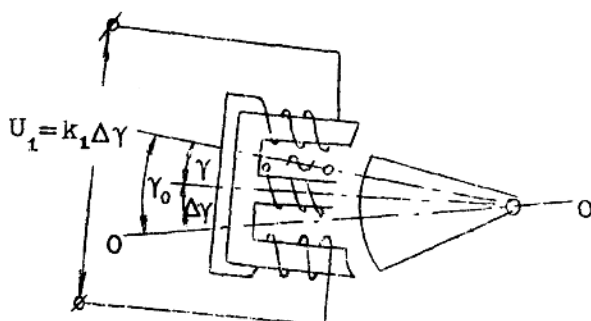
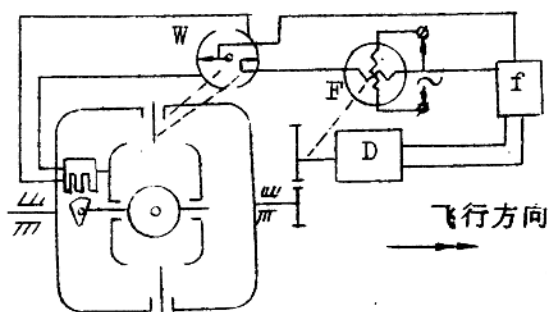


图 4

在图 1 中，还可以看到，放大器 3 的輸入端除了来自线性变压器的电压訊号外，还有来自发电机 4 的輸出电压。发电机 4 与电动机 5 組成一体，称为电动发电机组，简称 SE (ME)。发电机輸出的电压与电动机的轉速成正比，它輸入到放大器中，经放大后，給电动机起着阻碍电机旋轉的作用。其目的是为了改善系統的动态品质。有关这个问题以后将詳細分析。

在有随动托架的地平仪中都装有一种称为换向器的装置。它的原理电路图见图 5。



D — 电动机 F — 发电机
f — 放大器 W — 换向器

图 5

当飞机的俯仰角超过 90° 时，换向器的二个固定接触环与二个活动接触电刷正好反接 180° ，使线性变压器的输出信号反相接入放大器。为什么需要这样呢？我们先来讨论没有换向器时，地平仪的工作情况。图 6 (a) 表示，在正常情况下，飞机右倾斜，则电动机旋转，它的方向应使托架向消除 γ_0 的方向转动。它的方向见图 6 (a) 箭头所示。而当飞机倒飞时，见图 6 (b)，飞机仍作右倾斜，这时，如果电机转动方向不变，由于托架前后轴换了位置，结果，使托架向增大 γ_0 的方向转动。这样，外环轴就很快地与内环轴重合，地平仪也不能正常工作。为了避免这种情况，换向器就起到了使电动机反向转动的作用。因此，保持了陀螺的三个轴经常地相互垂直。

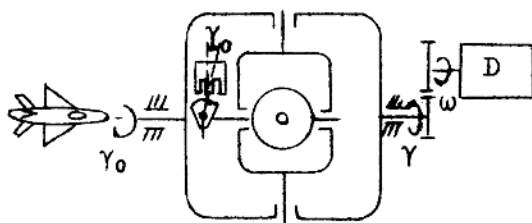


图 6(a)

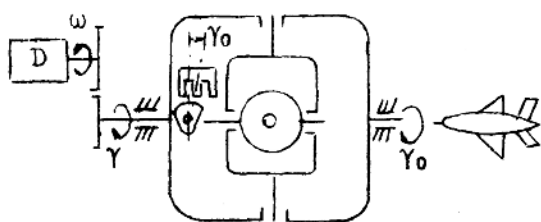


图 6(b)

傾斜訊号是由同步器远距离傳輸給指示器。同步器发送器的轉子12裝在托架軸上，定子固定在仪表壳体上，见图1，同步器的接收器裝在指示器內，指示器內裝有二套与托架随动系統相类似的随动系統，它分別將陀螺傳感器的俯仰，傾斜訊号重示出来，指示出飞机的飞行姿态，以供給駕駛員。

§ 2 什么叫做随动系統，及它的特点。

在前节的分析中，我們是将地球坐标系为参考坐标系来討論的。把陀螺看成是不动的，飞机相对陀螺轉动。如果我們將飞机作为参考系来討論問題时，那么当飞机有傾斜时，陀螺內环軸就相对托架轉过一个傾斜角 γ_0 ，方向与飞机傾斜方向相反。在托架系統的作用下，托架就跟着內环轉动，力图消除 γ_0 。因此系統的任务就是使托架跟随着陀螺內环的轉动，这样，使被控制的机构（托架）复現控制机构（陀螺）的运动的系統，我們叫做随动系統。同样，在指示器中，俯仰和傾斜指示（被控制机构）是跟随着陀螺內，外环的轉角（控制机构），以达到远距离指示的两套随动系統。

对整个托架系統来说，飞机的傾斜运动 γ_0 ，就是托架系統工作的外因，我們称它为系統的輸入。托架的跟随运动 γ 是系統工作的結果，我們称它为系統的輸出。

由此可见，托架系統是将飞机的傾斜，即輸入 γ_0 与托架的跟随，即輸出 γ 进行比较，而根据它們之間的差值 $\Delta\gamma = \gamma_0 - \gamma$ 来进行工作的。 $\Delta\gamma$ 我們称为偏差或誤差。

現在，我們可以概括随动系統有下述二个特点：

(1) 随动系統是根据偏差而工作的，即当系統的輸入量与輸出量不一致（有偏差）时就产生作用以減少这个偏差，使得系統的輸出量复現系統

的輸入量。

(2) 隨動系統工作時，它的輸入量的變化規律事先是不能知道的。

在航空儀表中，所採用的隨動系統都是輸出功率小於100瓦的。這種隨動系統，我們稱為小功率隨動系統。小功率隨動系統的特點，在於它的快速性和精度，體積和尺寸的要求高。

目前，在航空儀表中已廣泛地採用了小功率隨動系統，就以我們所討論的BDP-4地平儀而言，就採用了三套隨動系統。由此可見，掌握小功率隨動系統的分析方法是同等重要。

§ 3 小功率隨動系統的組成部份及其方塊圖

托架系統是由各個部份組成，有綫性變壓器，放大器，SF機組，減速器等。我們將每個組成部份稱為系統的各個環節。每個環節在整個系統中起着一定的職能。根據職能的不同我們可以將一個隨動系統分成由五種基本環節所組成：

(1) 比較環節：隨動系統是按偏差工作的，因此在隨動系統中必然有一個比較環節，它將系統的輸入與系統的輸出進行比較後，產生偏差訊號。

(2) 測量環節：測量偏差，而且又將它轉換成另一種便於傳遞的物理量的裝置。一般的偏差常常是機械位移（直綫或轉角）。為了便於傳遞一般將它轉換成電壓訊號。

(3) 放大環節：一般測量環節的輸出訊號是很微弱的，放大環節的職能就是將它放大到一定的足夠程度，以使系統能動作起來。

(4) 執行環節：使系統產生輸出的環節。

(5) 校準環節：在系統中為了改善系統的動態品質，有時還採用校準環節。

除校準環節外，其餘四種環節的職能都是一個隨動系統所必不可少的。

對於托架系統來說，綫性變壓器起着比較和測量這兩個環節的作用。它將系統的輸入（飛機的傾斜角），同系統的輸出（托架轉角），進行比較後，輸出與偏差角 $\Delta\gamma$ 成正比的電壓訊號，放大器起着放大環節的作用，而執行環節是電動機和減速器，系統的校準環節是測速發電機。

我們將作用於環節的物理量稱為該環節的輸入，而將經過環節後產生的物理量稱為該環節的輸出。例如，托架系統中綫性變壓器的輸入為偏差

角 ΔY ，而它的輸出為電壓訊號 U_1 。放大器的輸入為電壓 U 。（即綫性變壓器的輸出）和測速發電機的輸出電壓 U_F ，而它的輸出為電壓 U_F 。電動機的輸入為電壓 U_F ，即放大器輸出，而它的輸出為電機轉速 ω 。減速器的輸入為 ω ，即電動機輸出，而它的輸出為托架的轉角 Y 。

在系統的工作過程中，我們可以注意到，每個環節是根據系統工作的物理過程而依次排列着的，一個環節的輸出量往往是作為下一個環節的輸入量。因此，整個系統中，系統的輸入是依次經過各個環節轉變成各個環節的輸入和輸出來傳遞的。我們把這種訊號的傳遞關係按它的傳遞作用方向畫成信號傳遞圖。托架系統的信號傳遞圖見圖7。圖中 U_F 為測速發電機的輸出電壓，箭頭的方向就是信號傳遞的方向。

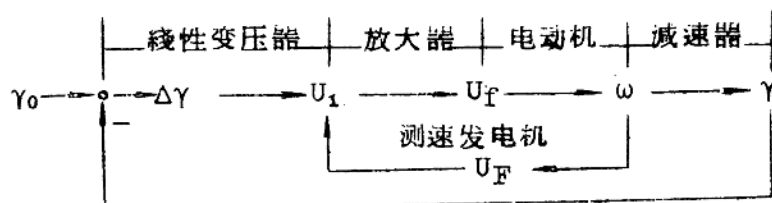


圖 7

由圖可見，大多數信號都是由前向後傳遞（由左到右）。僅 U_F 和 Y 由後向前傳，這種反向傳遞的信號稱為反饋。如果反饋信號與原作用信號的相位或極性相反，那么就稱為負反饋。（如圖7所示）。反之，如相位或極性相同則稱為正反饋。由於反饋而形成了一個閉合環（如圖所示），這個閉合環稱為閉合回路。在圖7中有二個閉合環，一個是以 U_F 為反饋的閉合環，這個閉合環閉合了系統中的一部份訊號，所以我們把 U_F 稱為局部反饋，它所形成的閉合回路，稱為小回路。系統中另一個閉合環是由 Y 所形成的，這個閉合環閉合了除系統輸入 Y_0 以外的所有其他訊號。我們把 Y 稱為主反饋，它所形成的回路稱為主回路。

結合前一節所討論的隨動系統的特點之一，是按偏差工作的，也就是系統的輸出 Y 必須反饋至系統輸入端，與輸入量 Y_0 相比較（相減），而以其差值 ΔY 使系統工作。因此，可以說：具有負反饋作用的閉合回路系統，就是隨動系統結構上的基本特點。

在圖7中已經標出了系統的各個環節，如果，將各個環節用一個方塊表示，並且用箭頭的指向來表明作用在該環節上的輸入量和輸出量，而又

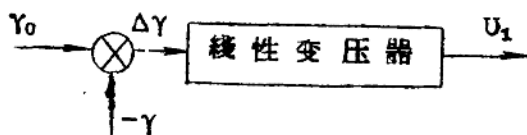
根据它們之間的相互关系連結起来，就构成了系統方块图。

系統方块图是我們在討論随动系統时最基本的方法之一，这种方法不仅是比結構示意图和电路图要簡練的多，而且它是突出了系統的本質的东西。

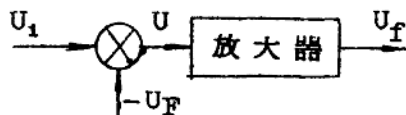
毛主席教导我們说：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的話，就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾，一切問題就迎刃而解了”。² 下面詳細地把托架系統的方块图的作法討論一下：

1. 先列写各环节方块图

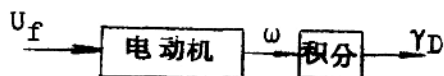
(1) 綫性变压器：綫性变压器是起着比較和測量这两个职能的作用，它将系統的輸入 γ_0 与系統的輸出 γ 相比較而得 $\Delta\gamma$ 。我們用“ $\otimes$ ”表示一个比較机构（相当于加法机构）。 γ_0 和 $-\gamma$ 相当于它的輸入，而 $\Delta\gamma$ 相当于它的輸出。对于輸入用指向“ $\otimes$ ”的箭头表示，对于輸出用离开“ $\otimes$ ”的箭头表示。綫性变压器的輸出为 U_1 ，因此，它还起着測量 $\Delta\gamma$ 和变换成电讯号的作用。它的方块图如下



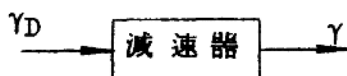
(2) 放大器：放大器是将綫性变压器的輸出电压 U 与测速发电机的輸出电压 U_F 相比較，而后將它們的差值进行放大到电压 U_f 。因此，它具有比較和放大的作用。它的方块图如下。



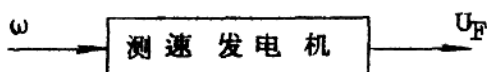
(3) 电动机：將放大器輸出电压 U_f 变为电动机轉速 ω （或轉角 γ_D ，轉角 γ_D 是轉速 ω 的积分）在系統中起着执行环节的作用。其方块图如下。



(4) 減速器：將電動機轉角 γ_D 變為托架的轉角。在系統中是起着傳遞轉角及力矩的作用，也是屬於執行環節。其方塊圖如下



(5) 測速發電機：輸入是電動機的轉速 ω ，輸出是電壓 U_F 。這電壓按負反饋接到放大器的輸入端，用來改善系統的動態品質。它屬於校正環節。它的方塊圖如下。



2. 托架系統方塊圖。

把各環節的方塊圖，按它們訊號的輸入，輸出的關係連結起來，就可以得到托架系統的方塊圖，如圖 8

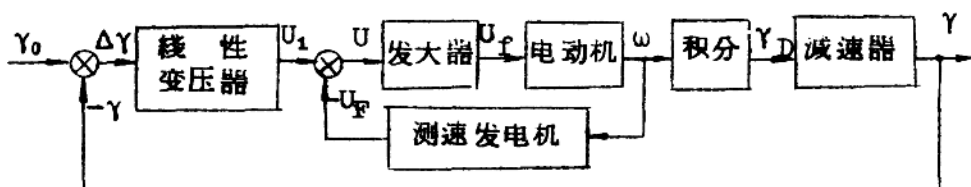


圖 8

如果，按隨動系統環節的五種基本職能來作方塊圖，那麼圖 8 可以改畫成如圖 9 的方塊圖。這個方塊表示了隨動系統的方塊圖的一般形式。

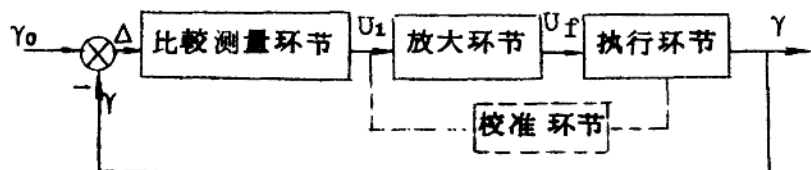


圖 9

校准環節不是在所有的隨動系統中所必需有的，所以在圖中用虛綫表示，而且，校准環節在系統方塊圖中的位置，也不一定如圖那樣構成一個小回路，也可以串聯在其他環節之中，一般串在放大環節之前。為了區分這二種校准的方式不同，我們分別稱之為並聯校准，串聯校准。

最后，需要指出，在航空仪表中所采用的随动系统的结构形式，像托架系统那样的结构方块图是具有一定代表性。

§ 4 小功率随动系统的典型工作状态。

在第二节中已经指出，随动系统的特点之一是它的输入量的变化规律是无法具体知道的。但是随动系统的任务就是要求系统的输出量复现系统输入量的变化。所以，在分析一个随动系统时必须要求知道输入量的变化情况。那么，如何解决这一矛盾呢？对于实际情况的观察和分析的结果，我们可以把随动系统的输入量作为三种典型状态来进行讨论。三种典型状态为：

(1) 等速输入作用：

其数学表示式为

$$t < 0 \quad \gamma_0(t) = 0 \quad \dot{\gamma}_0(t) = 0$$

$$t \geq 0 \quad \gamma_0(t) = \dot{\gamma}_0 t \quad \dot{\gamma}_0(t) = \dot{\gamma}_0$$

图 10 表示了等速作用时输入 $\gamma_0(t)$ 和时间 t 的函数关系。对托架系统来说，这相当于飞机作等速侧滚时的情况。

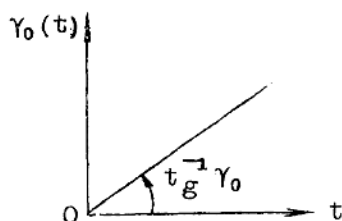


图 10

(2) 阶跃输入作用：

其数学表示为：

$$t < 0; \quad \gamma_0(t) = 0, \quad \dot{\gamma}_0(t) = 0$$

$$t \geq 0; \quad \gamma_0(t) = \gamma_0$$

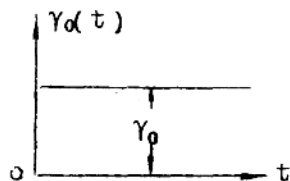


图 11

图 11 表示了阶跃作用下，输入 $\gamma_0(t)$ 与时间 t 的函数关系。这种输入作用相当于系统刚接通时的情况。这种情况对系统工作来讲是一种严格的考验。

(3) 周期输入作用：

其数学表示式为

$$\gamma_0(t) = \gamma_0 \sin \omega t$$

输入量按正弦规律变化，它的幅值为 γ_0 ，

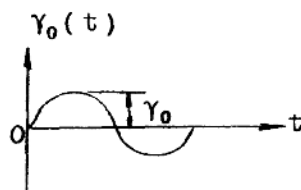


图 12

角频率为 ω (频率 $f = \frac{\omega}{2\pi}$)。图 12 表示在

周期輸入作用下，輸入 Y_0 与時間的函数关系。这种輸入作用相当于飞机绕纵軸的往复摆动。

§ 5 随动系統的品质指标

对一个随动系統性能的最基本的要求是准确地复現系統的輸入量的变化。在理想情况下，系統的輸出量在每一个瞬时都和輸入量一样，但在实际系統中由于許多环节不可能不存在慣性，如轉动慣量，电感，耦合电容等等。因此，复現輸入量的变化都不能瞬时完成，需要经过一段时间，即要有一个过渡过程。即便说，使輸入保持不变，经过一段过渡过程時間以后，也由于系統中存在着摩擦等因素，使得系統的輸出量不能复現輸入量。总之，在实际系統中，輸入与輸出是有誤差的。在工程技术上，我們往往对一个具体的系統提出一些允許的誤差，作为設計这个系統的品质指标。因此，随动系統的品质指标，其本质就是輸出量复現輸入量的准确性，复現的准确性可以用差值 ΔY 来表示。如图 13。

$$\Delta Y(t) = Y_0(t) - Y(t)$$

$\Delta Y(t)$ 的大小及变化规律，不仅取决于輸入的形式，而且取决于系統本身的各种参数。

对于系統的每个品质指标的具體意义，必須与典型輸入形式一起来討論。下面，分別以三种典型輸入情况的品质指标进行討論。

(1) 等速輸入作用。

当輸入量 $Y_0(t)$ 以等速变化时，系統的輸出量 $Y(t)$ 的变化，如图 14 所示。 $Y(t)$ 随着時間的增长，最后趋近于点划綫 $o'a'$ 。 $o'a' \parallel oa$ ，当时間 t 大于 t_1 以后， $Y(t)$ 是一条 $o'a'$ 綫。这意义就是，系統的輸出量已与輸入量变化的同样速度跟随着輸入。然而，在位置上存在着一个誤差值 ΔY_v ，这个誤差称为速度誤差。在 t_1 以前， $Y(t)$ 的变化是一条曲綫，系統处在过渡过程中，也称为动态过程。

系統的輸出量所能达到的最大速度，称为最大的跟踪速度。它也是系統能跟踪輸入量的最大速度。

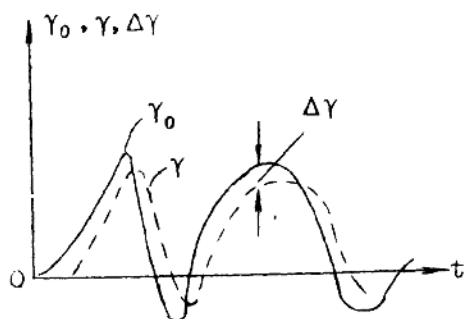


图 13

因此，作为等速輸入作用下，系統有二个品質指标，即速度誤差，和最大的跟踪速度。

(2) 阶跃輸入作用。

图 15 所示为系統在阶跃輸入作用下，輸出量的变化情况。由于系統的参数不同，系統的輸出可能出現三种情况。第一种情况系統的輸出帶有一定的振盪而后穩定在輸入量的附近，如图 15 中的①。第二种情况系統的輸出沒有振盪，慢慢地趋向輸入

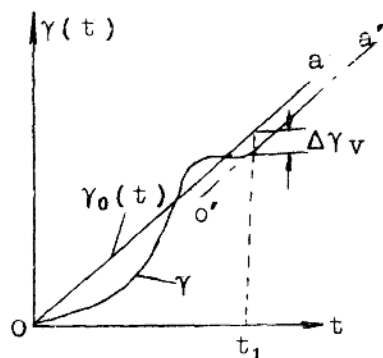


图 14

入量，最后穩定在輸入量的附近。如图 15 中的②。第三种情况系統的輸出帶有很大振盪，而且随着時間的增长其振盪幅度愈来愈大，最后不能穩定在輸入量附近。如图 15 中的③。十分明显，作为第三种情况系統就不能实现复現輸入量的任务。因此，这种情况是我們力求要避免的。出現这种現象时，我們称之为不稳定。第二种和第三种都是穩定的。从图中可以看到曲线②达到輸入量 Y_0 的时间过于緩慢。而曲线③在快速反应輸入量方面比曲线②好的多。然而，它存在着振盪。这对仪表本身来讲，过多的振盪对于判读及仪表的机构都是有害的。因此，我們要求随动系統的反应速度快，振盪振幅要小，振盪次数要少。下面我們以第一种情况来討論在阶跃輸入作用下的品質指标。如图 16。

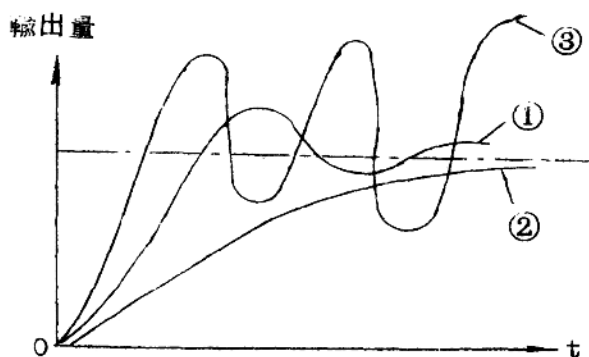


图 15

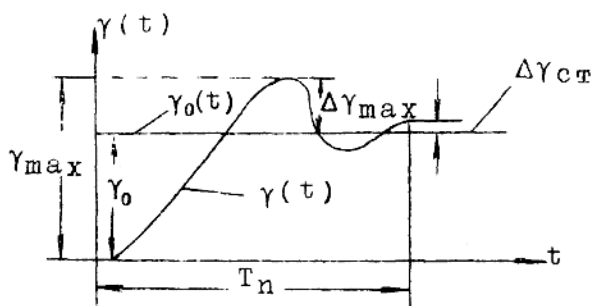


图 16

系统的输出，在经过一段时间 T_n 之后才能稳定下来，这段时间内所发生的运动状态就是我们所说的动态，也就是过渡过程。 T_n 称为过渡过程时间。在 T_n 以内系统输出可以达到某一最大值 γ_{max} ，它和输入量 γ_0 之差 $\Delta\gamma_{max}$ 称为最大超调量。它与输入 γ_0 的百分比值 $\sigma\%$ 称为相对超调量或简称超调量。

$$\sigma\% = \frac{\gamma_{max} - \gamma_0}{\gamma_0} \times 100 = \frac{\Delta\gamma_{max}}{\gamma_0} \times 100$$

振荡性是以振荡次数 μ 表示。 μ 是指在过渡过程时间内系统输出量围绕它的平衡位置往复变化的次数。另外，当系统过渡过程结束后系统输出时的偏差 $\Delta\gamma_{et}$ 称为停滞误差。因此，对阶跃输入作用的系统品质指标是： T_n ， $\Delta\gamma_{max}$ ($\sigma\%$)， $\Delta\gamma_{et}$ ，及 μ 。

(3) 周期输入作用。

当一个随动系统的输入量以周期规律变化时，它的输出量将作何种变化呢？在此，我们可以回忆一下，在刚体力学中所讨论的有关机械系统强迫振动的情况，当一个机械系统受到外界的周期振动作用时，系统的运动在经过了一个短暂的过渡过程以后，将呈现一个强迫振动。强迫振动的频率将与外界的振动频率一致。但它的幅值和相角与外界的振动作用不一样，它不仅与外界振动的幅值和频率有关，而且它与机械系统的参数有密切关系。

一个随动系统也可以比拟成一个机械系统。当系统的输入量作周期变化时，也同样经过一个短暂的过渡时间之后，系统作强迫振荡。如图 17。图中表示了二个不同的频率。从图可见，在过渡过程结束之后， γ_0 与 γ 以

同样频率作周期变化，但是在幅度上和相角上有一个差值，而且这个差值随着输入量频率的大小而变化。因此，对周期作用下的品质指标应是在需要复现输入量周期变化的频率范围内，输出的幅度误差 ΔA ，相角误差 $\Delta\varphi$ 的容许值。一般幅度误差以相对值表示。幅度相对误差 δ_A ，

$$\delta_A\% = \frac{\Delta A}{A} \times 100$$

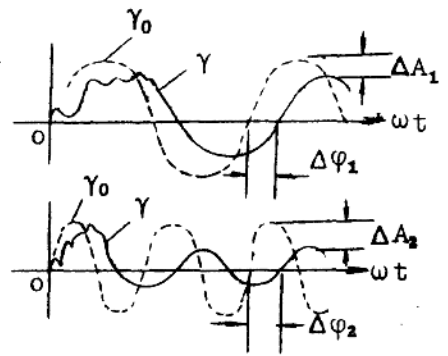


图 17

反过来，也可以这样提出指标，就是，在某一个限定的 δ_A 值下系统复现输入量的频率范围。这个频率范围称为频带宽 ω_g 。在自动控制系统中也有规定 $\delta_A=0.707$ 时的频带宽称为通频带。

因此，在周期作用下的品质指标为， ΔA ， $\Delta\varphi$ 或 ω_g 。

上述各种指标，又可以按照输出量变化的情况来区别动态指标，稳态指标这两二类。可以这样认为，如果，输出量在过度过程中的品质指标，我们称为动态指标，而在过渡过程结束，稳定状态下的品质指标称为稳态指标。因此，静差 Δy_{CT} ，速度误差 Δy_v ，跟踪速度 ω_{max} 属于稳态指标。而超调量 $\sigma\%$ ，振荡次数 μ ，过渡过程时间 T_n ，幅度误差 ΔA ，相位误差 $\Delta\varphi$ ，频带宽 ω_g 属于动态指标。

我们已经讨论了各种典型输入情况下的品质指标。对于某一随动系统来说，应根据何种品质指标的要求来设计。就必须对这个随动系统的工作条件要有一个充分的分析。但是必须指出，无论何种典型输入也不能完整地代表系统的实际工作条件。因此任何一个设计需要经过实验的验证才能完成。然而，即使这样，我们也不能否认以典型输入作分析随动系统的必要性及它的现实意义。

§ 6 随动托架系统的运动方程

毛主席教导我们说：“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量分析”。³

我們已經定性地討論了托架系統的工作情況，本節將討論系統各個參數對系統運動的影響。為此，就必須列寫系統運動方程式，運動方程就是把系統各個物理量參數對整個系統運動的影響表達出來。即將系統輸入和輸出之間的關係用方程式形式表示出來。

系統是由各個環節所組成的，所以必須從環節運動方程入手，找出它們之間的聯繫就可以得出系統的運動方程。

(1) 綫性變壓器

對整個托架系統各個環節來說，綫性變壓器的動態過程是非常短的。所以，在分析系統時，常常認為綫性變壓器的輸入和輸出之間沒有時間的延滯。那麼，我們可以用綫性變壓器的靜態特性曲線來代替它的運動參數之間的關係。

理想的綫性變壓器的靜態特性曲線是一條直綫。如圖 18 所示。橫坐標代表輸入 $\Delta\gamma$ ，其方向定為定子繞組按順時針繞轉子轉動的角度為正向，按逆時針轉過的角度為負。縱坐標表示綫性變壓器輸出的電壓，它的正負這樣決定，對應正角輸出的電壓相位為正，或者是與綫性變壓器的激磁電壓同相，對應負角輸出的電壓相位為負，即與激磁電壓反相，正負相位之間差 180° 。

綫性變壓器的理想特性為一條通過原點的直綫，它的輸入、輸出方程式可以寫成

$$U_1 = K_1 \Delta\gamma \quad (1)$$

K_1 稱為綫性變壓器的靈敏度。也稱梯度。它表示單位轉角下的輸出電壓值。

事實上，我們用一個真空電壓表測量綫性變壓器的特性曲線時，可以發現真實的實驗特性和理想特性有很大的差異。圖 19 示某一綫性變壓器的實驗特性曲線。圖中虛綫為理想特性，將這兩條特性進行比較，可以看到有下述幾點區別。

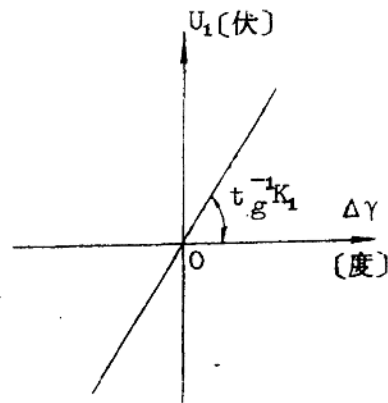


圖 18