

随从驱动原理

下 册

苏联 A.Γ.約瑟夫揚 Б.М.卡岡著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書(上、下冊)敘述了各種隨從驅動(驅動系統)的理論和計算的基礎,以及隨從驅動線路中的各種主要元件(自整角機、執行電動機、放大裝置、產生加速信號和阻尼信號的裝置等)的理論和計算的基礎。

本書適用於在自動控制、自動調整和電力驅動方面工作的研究人員、高等學校教師和工程技術人員。

А.Г.ИОСИФЬЯН В.М.КАГАН
ОСНОВЫ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1954

隨從驅動原理 下冊

根據蘇聯國立動力出版社1954年莫斯科版翻譯

左 觀 山譯

*

1179D337

水利電力出版社出版(北京西郊科學路二里餘)

北京市書刊出版業營業許可證出字第106號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本*1張印張*250千字

1959年5月北京第1版

1959年5月北京第1次印刷(0001—5,130冊)

統一書號: 15143·982 定價(第10類)1.60元

73.82
2155-0
下

目 录

第八章 同步随从驱动的各种线路	3
8-1 精讀与粗讀自整角线路的信号选择	3
8-2 使用电子管放大器和磁放大器的小功率同步随从驱动	11
8-3 使用闸流管放大器的同步随从驱动	16
8-4 使用电力放大机的同步随从驱动	21
8-5 电机水力同步随从驱动	30
8-6 执行軸从极限位置的自动退出	33
第九章 綫性同步随从驱动的理论	35
9-1 随从驱动系统的微分方程式的列写	36
9-2 随从驱动系统的变换函数的概念	43
9-3 随从驱动的穩定性的概念	47
9-4 穩定性判定法	51
9-5 应用劳斯-胡維茨判定法来分析随从驱动的穩定性	61
9-6 按照 A.B.米哈依洛夫判定法来分析随从驱动的穩定性	69
9-7 随从驱动的開环系統頻率特性, 穩定性裕度的概念	75
9-8 利用幅相特性来分析随从驱动的穩定性	77
9-9 电机水力随从驱动理論的若干特点	94
9-10 随从驱动的閉环系統頻率特性	99
9-11 随从驱动的敏捷性	100
9-12 根据驱动的頻率特性来評判过渡过程質量的近似方法	112
9-13 根据開环系統幅相特性来判断过渡过程的質量	119
9-14 过渡过程曲綫的近似作图法	126
9-15 随从驱动的对数頻率特性	135
第十章 非綫性因素对同步随从驱动运行的影响	148
10-1 同步随从驱动的几种主要的非綫性因素	148
10-2 关于非綫性開环系統的零值幅相特性的三权概念	154
10-3 自振盪的振幅和頻率的影响	158

10-4	具有有限額功率的放大器	165
10-5	具有不灵敏区和有限額功率的放大器	169
10-6	执行电动机与位置量測器之間的机械传动中的間隙	174
10-7	干摩擦	180
10-8	間隙和干摩擦	186
10-9	放大器特性中的磁滯回綫	191
10-10	执行电动机与反饋測速发电机之間的传动装置中的間隙	195
10-11	关于非綫性因素給予同步随从驅動的过渡过程 持續時間的影响的近似評判	199
10-12	描繪非綫性系統的过渡过程曲綫的近似頻率方法	210

第十一章 繼电随从驅动226

11-1	繼电随从驅动的特点	226
11-2	繼电随从驅动的綫路举例	229
11-3	繼电随从驅动的几項特性	233
11-4	沒有不灵敏区的繼电随从驅动	234
11-5	沒有不灵敏区的繼电随从驅动裝有有慣性的 輔助放大器的情形	237
11-6	沒有不灵敏区的繼电随从驅动在繼电器有时滯时的情形	238
11-7	具有不灵敏区的繼电随从驅动	239
11-8	具有不灵敏区的繼电随从驅动在回復系数 $\lambda < 1$ 时的情形	244
11-9	具有按照位置角微商的附加順饋的繼电随从驅动	252
11-10	具有按照补偿速度的負反饋的繼电随从驅动	257
11-11	繼电随从驅动中的过渡过程持續時間的近似評判	259
11-12	繼电随从驅动的过渡过程曲綫的計算	261

第十二章 随从驅动的統計力学初步267

12-1	問題的提出	267
12-2	随机过程的特性	270
12-3	平稳随机过程的特性	274
12-4	随机信号的通过綫性系統	282

73.82
2155-0
下

目 录

第八章 同步随从驱动的各种线路	3
8-1 精讀与粗讀自整角线路的信号选择	3
8-2 使用电子管放大器和磁放大器的小功率同步随从驱动	11
8-3 使用闸流管放大器的同步随从驱动	16
8-4 使用电力放大机的同步随从驱动	21
8-5 电机水力同步随从驱动	30
8-6 执行軸从极限位置的自动退出	33
第九章 綫性同步随从驱动的理论	35
9-1 随从驱动系统的微分方程式的列写	36
9-2 随从驱动系统的变换函数的概念	43
9-3 随从驱动的穩定性的概念	47
9-4 穩定性判定法	51
9-5 应用劳斯-胡維茨判定法来分析随从驱动的穩定性	61
9-6 按照 A.B.米哈依洛夫判定法来分析随从驱动的穩定性	69
9-7 随从驱动的開环系統頻率特性, 穩定性裕度的概念	75
9-8 利用幅相特性来分析随从驱动的穩定性	77
9-9 电机水力随从驱动理論的若干特点	94
9-10 随从驱动的閉环系統頻率特性	99
9-11 随从驱动的敏捷性	100
9-12 根据驱动的頻率特性来評判过渡过程質量的近似方法	112
9-13 根据開环系統幅相特性来判断过渡过程的質量	119
9-14 过渡过程曲綫的近似作图法	126
9-15 随从驱动的对数頻率特性	135
第十章 非綫性因素对同步随从驱动运行的影响	148
10-1 同步随从驱动的几种主要的非綫性因素	148
10-2 关于非綫性环节的等值幅相特性的基本概念	154
10-3 自振盪的振幅和频率的決定	158

10-4	具有有限額功率的放大器	165
10-5	具有不灵敏区和有限額功率的放大器	169
10-6	执行电动机与位置量測器之間的机械传动中的間隙	174
10-7	干摩擦	180
10-8	間隙和干摩擦	186
10-9	放大器特性中的磁滯回綫	191
10-10	执行电动机与反饋測速发电机之間的传动裝置中的間隙	195
10-11	关于非綫性因素給予同步随从驅動的过渡过程 持續時間的影响的近似評判	199
10-12	描繪非綫性系統的过渡过程曲綫的近似頻率方法	210

第十一章 繼电随从驅动226

11-1	繼电随从驅动的特点	226
11-2	繼电随从驅动的綫路举例	229
11-3	繼电随从驅动的几項特性	233
11-4	沒有不灵敏区的繼电随从驅动	234
11-5	沒有不灵敏区的繼电随从驅动裝有有慣性的 輔助放大器的情形	237
11-6	沒有不灵敏区的繼电随从驅动在繼电器有时滯时的情形	238
11-7	具有不灵敏区的繼电随从驅动	239
11-8	具有不灵敏区的繼电随从驅动在回復系数 $\lambda < 1$ 时的情形	244
11-9	具有按照位置角微商的附加順饋的繼电随从驅动	252
11-10	具有按照补偿速度的負反饋的繼电随从驅动	257
11-11	繼电随从驅动中的过渡过程持續時間的近似評判	259
11-12	繼电随从驅动的过渡过程曲綫的計算	261

第十二章 随从驅动的統計力学初步267

12-1	問題的提出	267
12-2	随机过程的特性	270
12-3	平稳随机过程的特性	274
12-4	随机信号的通过綫性系統	282

第八章 同步随从驱动的各种线路

8-1. 精讀与粗讀自整角线路的信号选择

我們来討論使用自整角位差量測线路的随从驱动系統所特有的一个环节。为了提高將执行軸确定在与主令軸无位差的位置时的准确度，我們要使用一种由精讀系統和粗讀系統組成的双重自整角线路。主令軸与粗讀自整角机发送器之間的傳动比，通常等于1。粗讀自整角机发送器与精讀自整角机发送器之間联接有用来提高精讀自整角机轉速的机械傳动裝置。在执行軸与精讀及粗讀自整角机接收器之間，也裝置有同样的机械傳动。

图8-1所示，是作为位差角函数的精讀及粗讀自整角线路的两个信号电压的有效值 $U_{y.r}$ 和 $U_{y.r}$ 的变化曲线。沿横坐标軸标出的，是折算到粗讀自整角机軸上的位差角。在图8-1中，依照

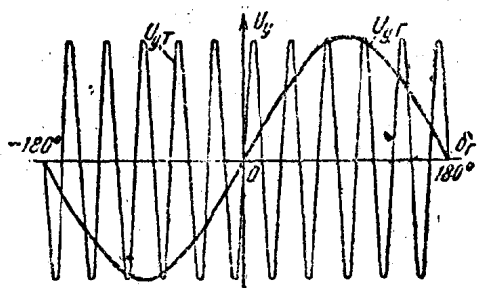


图8-1 精讀及粗讀自整角线路的信号电压曲线

惯例，电压符号的改变，是表示信号电压的相位改变了 180° 。在描繪图8-1中的曲线时，我們是取粗讀和精讀自整角机之間的傳动比为 $i_c = 11$ 。

研究一下这些电压曲线，就可以看出，如果只使用精讀系統来进行控制，驱动就会有好几个稳定位置（每隔 $\frac{360}{i_c}$ 度位差角就有一个）。驱动在任意位差角之下的正确运行，是依靠粗讀系統来保证的，这个系統只能給驱动提供一个稳定的位置，那就是与主令軸和执行軸的无位差位置相符合的位置。粗讀系統由于自整角线路本身的誤差，並不能保证使两个軸处于准确的无位差位置。主令軸和执行軸的

准确的无位差位置，是利用精讀系統来达到的。但是，这一系統只有在很小的位差角之下（約在精讀尺度的 150° 以內），才能保証驅动的正确运行。

如果加于放大器的較入端之上的，是精讀和粗讀自整角綫路的两个控制电压之和，那末，当位差角具有一定的大小时，精讀自整角綫路的信号电压就可能会与粗讀自整角綫路的电压相位相反（参看图8-1），这样就会使控制綫路的正常运行遭受破坏。

由于自整角綫路本身所固有的不准确性，精讀系統和粗讀系統的零值信号电压所对应的执行軸位置，可能是彼此不相符合的。这两种位置之間的差异，几乎完全是由粗讀自整角綫路的誤差大小所决定的，因为精讀綫路的誤差所发生的影响，业已由于粗讀和精讀自整角机之間裝有升速机械傳动而大大的减小了。由此可見，如果粗讀系統和精讀系統一同工作，則在位差角很小时，由于粗讀綫路的誤差，执行軸就不会停止在精讀自整角綫路所确定的位置，而会停止在另外一个能使精讀和粗讀自整角綫路的信号电压互相抵消的位置之上。

要使随入驅动能够正确地运行，就必須在位差角很小时，將粗讀自整角机的电压开断，只讓精讀自整角机的电压发生作用；而在位差角較大时，則应將精讀自整角机的电压开断，使控制作用轉移到粗讀系統上去。

在随入驅动系統中，这种將粗讀和精讀系統的信号自动地开断和接通的操作，是由一种特殊的綫路——即所謂自整角信号選擇器——来执行的。

現在，讓我們来討論几种選擇器的綫路。

以粗讀自整角机作指示器运用的選擇器 这种選擇裝置的綫路图已示于图8-2中。

兩台精讀自整角机——发送器 AT 和接收器 HT ——是作变压器运行的。接收器的單相繞組联接在放大器的輸入端之上。

兩台粗讀自整角机——发送器 AT 和接收器 HT ——是作指示器运行的。自整角机 AT 和 HT 的單相繞組都联接在交流电网之上。在粗讀自整角机接收器 HT 中，轉子和定子都可以轉动。定子（在图8-2中，定

子上装的是单相绕组)与联接在放大装置的输出端的执行电动机ИД, 有着机械的联接。精读自整角机接收器的转子(单相的), 也是与电动机相联接的。

粗读自整角机接收器的转子, 在整步力矩的作用之下, 将停止在一个这样的位置之上: 这个位置对于定子极轴的相对位置, 就和发送器ДТ的转子对于其极轴的相对位置完全一样。自整角机接收器的转子上装有一个可动触点1。接触装置КП装有两个固定的触点2和3。

当主令轴和执行轴转动时, 自整角机ПГ的转子就将从它的中央位置偏离一个等于位差角的角度。如果位差角小于 $4\sim 5^\circ$, 则КП的两个触点都是开断的, 因而对于驱动的控制将完全由精读自整角线路来担当。当位差角增加到 $4\sim 5^\circ$ 时, КП的两个触点将依据位差角方向的不同而有一个闭合。于是, 相应的继电器 P_1 或 P_2 就开始动作。由于继电器触点闭合的结果, 就将有一个相位随位差符号而定的电压, 通过变压器TP而加于放大器的输入端之上。这个电压的大小是与电动机的最大转速相对应的, 并且它将比精读自整角机的最大信号电压大得多, 以致后者不能在驱动的运行中引起畸变。

图8-2的线路图中所示的选择装置, 由于有触点存在, 乃是复杂而不十分可靠的。

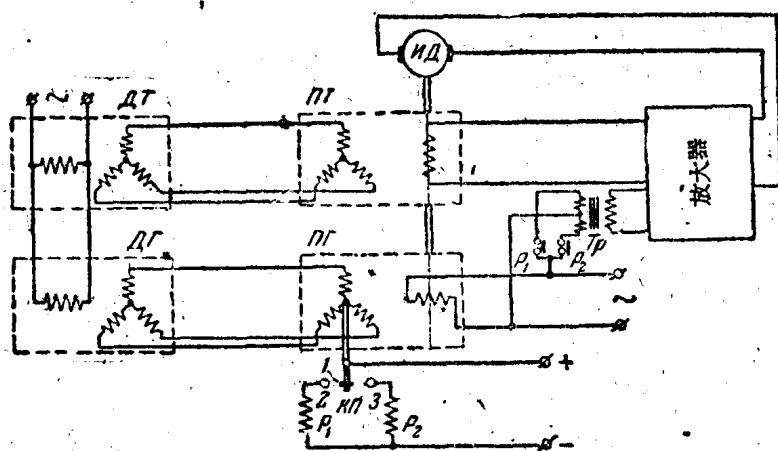


图 8-2 以自整角机作指示器运行的自整角信号选择器的线路图

使用氖灯的无触点选择器 选择器的线路图和自整角机的与之相联接的情形，已示于图8-3中。精读和粗读自整角机都是作变压器运行的。精读自整角线路的信号，可以通过变压器 TP_1 ，而直接加于主放大器的输入端之上。

粗读自整角机的信号电压，要经过粗读系统中的一个由电子管 J_1 构成的放大器加以放大。输出变压器 TP_2 的副绕组是经过两个氖灯 J_2 和 J_3 ，而与精读系统的信号电路并联地接于主放大器的输入端之上的。氖灯在这个线路中的作用，就相当于两个无惯性的电压继电器。当位差角很小时，变压器 TP_2 的副绕组上的电压将不足以使氖灯起燃。在这种情形下，粗读自整角机的信号电路，就从主放大器的输入端开断。这时的控制完全是按照精读自整角机的信号来进行的。

当位差角增加到精读尺度的 $90 \sim 150^\circ$ 时，变压器 TP_2 的副绕组电压将增大到足以使氖灯起燃的数值。这时，两个氖灯就把粗读自整角机的信号电路与主放大器的输入端联接起来。

氖灯的起燃电压要比精读自整角机加于主放大器输入端上的最大信号电压大得多。因此，在位差角较大时，精读系统不会在驱动的运行中引起畸变。

使用非线性电阻的选择器 图8-4中所示，是自整角线路的一种以利用非线性电阻为基础的信号选择线路，这种线路中既没有接触器，也没有电子管。在这里，可以使用硒整流器来作为非线性电阻。当外加电压很小时，硒整流器的电阻很大。但随着电压的增加，整流器的电阻就会迅速地减小。

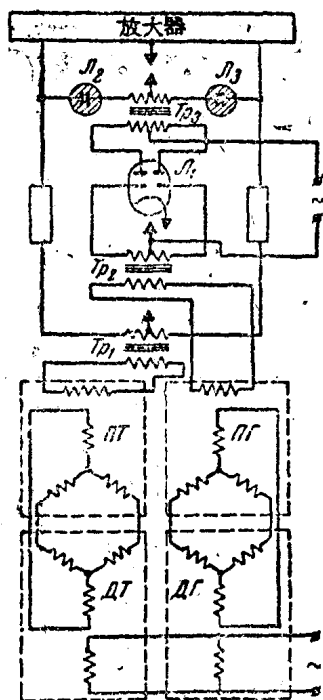


图 8-3 使用氖灯的自整角信号选择器的线路图

精讀和粗讀自整角綫路的兩种信号，可以在电位計 r_1 — r_2 之上相加起来。

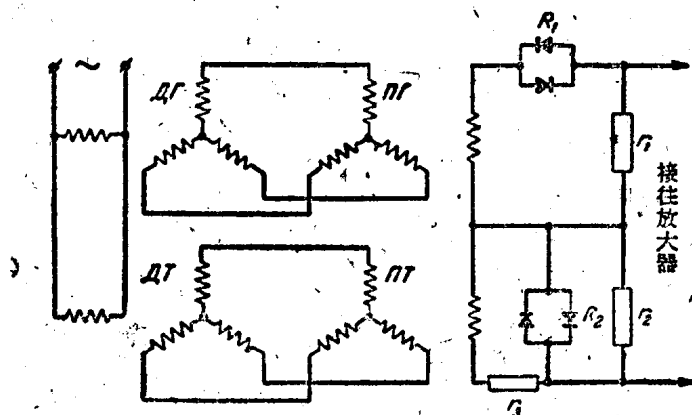


图 8-4 使用非线性电阻的自整角信号选择器的綫路图

在粗讀自整角机接收器的單相繞組上，串联有一个非线性电阻 R_1 ，它是由两个向相反方向导电的硒整流器并联而成的。电阻 R_1 在交变电流的两个半周之内，都可以讓电流通过。

当位差角很小时，粗讀自整角綫路的电压也很小，因此 R_1 的电阻很大，而信号电压就只有很小一部分加于輸出电阻 r_1 之上。当位差角增大时，信号电压也将随之而增大，这就使得 R_1 的电阻迅速地降低。这时，差不多全部控制电压都加在輸出电阻 r_1 之上。

精讀自整角綫路的信号电压，是经过电阻 r_2 而加于电阻 r_3 之上的，在电阻 R_2 之上，还并联有一个非线性的分路电阻 R_2 。当精讀自整角机的信号电压还很小时， R_2 的电阻很大，这时精讀綫路的輸出电压将由电阻 r_2 与 r_3 的大小之比来决定。因为 r_2 比 r_3 大得多，故信号电压的大部分将加在輸出电阻 R_2 之上。当信号电压增加时， R_2 的电阻就迅速地降低。这时，电阻 r_2 上的电压降落将大大地增加，这样一来，就限制了加于电阻 r_3 之上的电压的大小。

图 8-5 中所示的諸曲綫，表示了选择器的輸出电压随位差角而变化的情形。曲綫 1 所对应的，是只有粗讀自整角綫路在工作的情形。曲綫 2 所对应的，是只有精讀自整角綫路在工作的情形。曲綫 3 乃是选择

器在精讀和粗讀自整角綫路同时工作时的輸出特性。虛綫曲綫 4 所表示的，是精讀自整角接收器的單相繞組的端电压。从这些曲綫可以看出，当位差角很小时，選擇器的总特性曲綫的斜度是与精讀自整角綫路的特性曲綫的斜度十分相近的。因为这种綫路在位差角很大时，其作用是將精讀信号加以限制，而在位差角很小时，則是把粗讀信号加以切斷，所以，在精讀和粗讀自整角綫路同时工作时，运行的正确性並不会遭到破坏。

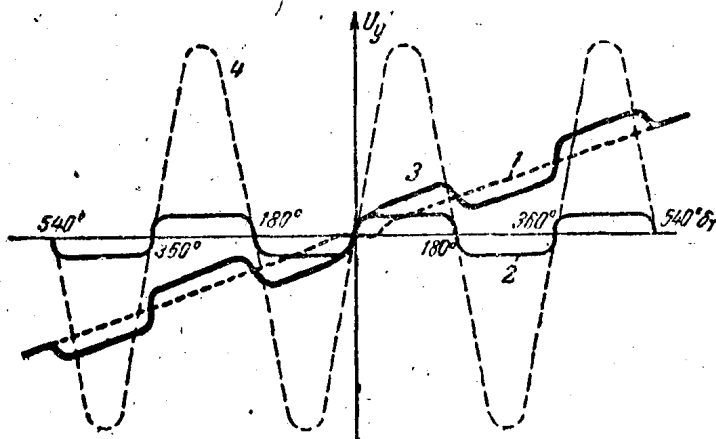


图 8-5 利用非线性电阻的精讀和粗讀自整角綫路的信号选择情形

選擇器的总特性曲綫(曲綫 3)上，有一些下凹的地方，这些下凹处所对应的，是位差角的这样一些数值：在这些数值之下，精讀和粗讀自整角綫路的两个信号电压是相位相反的。我們必須使得選擇器在特性曲綫下凹处的最小輸出电压，大于与放大器的饱和情形相对应的电压。否則，在这些点上，就会发生执行电动机速度下降的現象。

現在讓我們来討論如何选择粗讀和精讀自整角机之間的傳动比的問題。

在選擇器开始將控制作用轉移到粗讀自整角綫路时，位差角所具有的大小，必須超过粗讀自整角綫路的誤差角的最大值^①。不然，在使用具有繼电特性的各种選擇器（例如使用接触裝置的選擇器，和使

① 在誤差中，还包括有由于自整角机的零位置的調节不准确而引起的誤差。

用氖灯的选择器)时,驱动就可能要在精讀自整角机和粗讀自整角机所分別确定的两个无位差位置之間进行振盪。为了使选择器的工作可靠起見,换接时的位差角不得小于 $3\sim 4^\circ$ 。

增加粗讀与精讀自整角机之間的傳动比,可以增加驱动运行的准确度。但是,这种傳动比的增加,不能超出一定的范围。当控制作用从精讀自整角綫路轉移到粗讀綫路时,位差角应该不超过精讀尺度的 $\pm 120\sim 150^\circ$,因为如果再增加这个换接角度,就会使精讀自整角綫路的信号电压大大的降低,并且当这个角度大于 180° 时,驱动的正常运行就要遭到破坏。

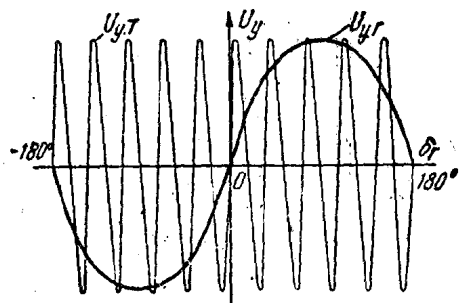


图 8-6 精讀和粗讀自整角机之間的傳动比为偶数时的电压 U_{yT} 和 U_{yR} 的曲綫

由此可見,精讀自整角机与粗讀自整角机之間的傳动比,不应该超过 $30\sim 50$ 。精讀和粗讀自整角机之間的傳动比,应该尽可能选择成奇数。在这样的情形下,正如图 8-1 中的信号电压曲綫所显示的,就不会在位差角为 180° 的地方出現虛假的无位差位置。虽然在这一位置上,粗讀系統已被选择器所开断,但对于精讀系統來說,这个位置乃是一个不稳定的平衡位置。只要位差角发生很小的变化,就足以使精讀系統开始推动执行軸轉向規定的无位差位置。然后,粗讀系統就可以接通,使驱动进行整步。当位差角减小到 $3\sim 4^\circ$ 时,精讀系統又重新接通,而这一系統就可以把执行軸准确地确定到規定的位置之上。

图 8-6 所示是当傳动比为偶数时($i_c=10$),精讀和粗讀自整角机的信号电压的变化曲綫。从这些曲綫可以看出,在这种情形下,当位差角为 180° (粗讀尺度的)时,精讀自整角机的发送器与接收器的两种轉角之間,相差將为整的周数,因此, 180° 的位差角对于精讀系統來說,就是一个无位差的位置。当位差角接近 180° 时,粗讀系統即被选择器所开断。这样,当傳动比为偶数时, 180° 的位差角就是一个虛假的无位差位置。这时驱动將稳定地停留在这一位置之上,因为如果这

一角度发生了微小的变化，精讀系統会把执行軸推回到位差角 δ_r 等于 180° 的位置上去。

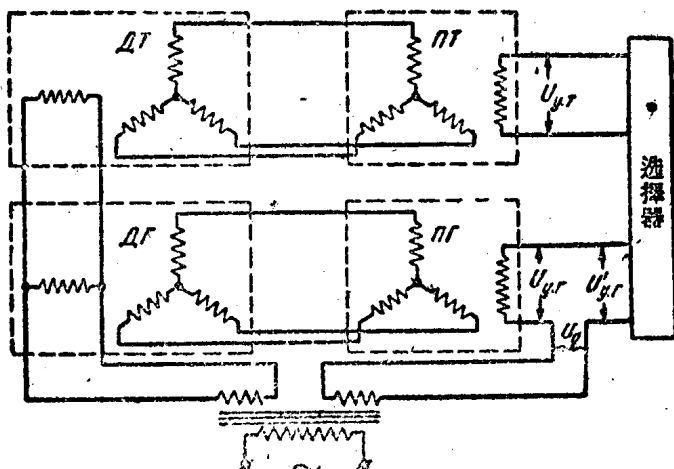


图 8-7 消除虛假无位差位置的綫路

当傳动比为偶数时，如果將粗讀自整角綫路的零位置加以偏移，就可以消除这种稳定的虛假无位差位置。要做到这一点，可以用一个电力变压器的偏压繞組来与粗讀自整角机的單相繞組相串联(图8-7)，並使这个偏压繞組的电压 U_0 約等于粗讀自整角綫路在位差角为

$$\delta_r = \frac{180^\circ}{2\delta_c}$$

时的信号电压。

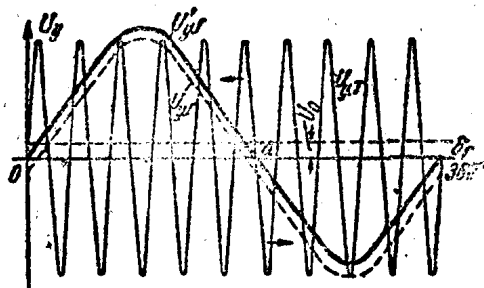


图 8-8 用偏压消除虛假无位差位置的情形

定子轉过一个适当的角度。

图8-3所示，是粗讀电路的合成电压

当执行軸和主令軸处于无位差位置时，变压器的偏压繞組的电压 U_0 ，可以用粗讀自整角机接收器的單相繞組的电压 $U_{y,r}$ 来抵消。要抵消这一偏压，可以把粗讀系統的发送器或接收器的

$$U'_{y.r} = U_{y.r} + U_0$$

如何随位差角而变化的情形。当两个轴处于无位差位置时，合成电压 $U'_{y.r}$ 是等于零的。第二个能使 $U'_{y.r}$ 等于零的位差角数值(图 8-8 中的点 a)，已经从 $\delta_r = 180^\circ$ 的地方偏移了一个相当于精读自整角机的转子转过 180° (精读尺度的)的角度。在这种情形下，精读系统的作用，就和传动比为奇数时的情形一样。在与 a 点对应的位差角之下， $U'_{y.r} = 0$ ，但这时随从驱动是处于不稳定平衡的状态。只要位差角的大小发生微小的变化，精读系统就会开始推动执行轴转向规定的无位差位置。

8-2. 使用电子管放大器 and 放大器的小功率同步随从驱动

执行电动机的功率只有数瓦到数十瓦的随从驱动，都属于小功率随从驱动之列。在这类装置中，用来作为执行电动机的，是直流电动机和杯形转子或鼠笼转子的二相交流电动机。

电动机的类型在很大的程度上决定了线路结构的特点。

图 8-9 中所示，是一个使用直流电动机和电子管放大器的小功率同步随从驱动的原理线路图[参 82]。电动机 $ИД$ 的电枢经过一个电阻

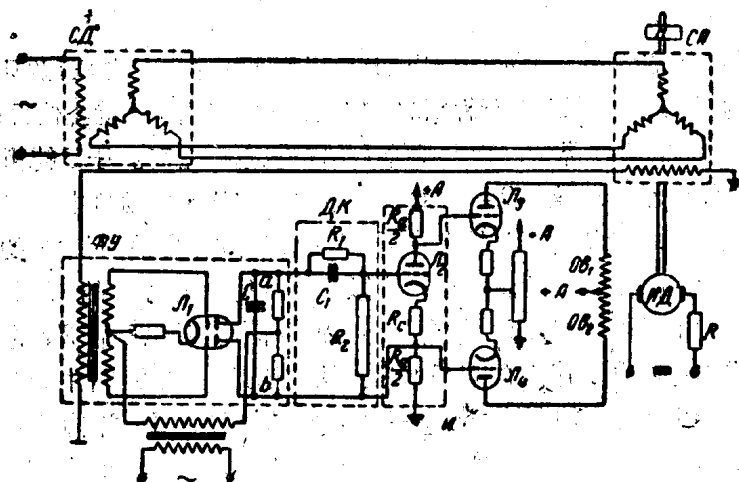


图 8-9 使用电子管放大器和直流电动机的小功率随从驱动的原理线路图

R 而接于直流电网之下。电动机裝有两个作用方向彼此相反的激磁繞組 OB_1 和 OB_2 。調节繞組 OB_1 和 OB_2 中的两个电流之差，就可以实现对于电动机的控制。串联于电樞电路中的电阻 R ，是用来在电动机速度变化时，保持电樞电流恆定的。

自整角机接收器的單相繞組所发生的位差电压，加于檢相放大器 ΦV 的輸入变压器之上。放大器 ΦV 的輸出电压的脈动，是利用电容器 C 来加以收平的。放大器 ΦV 的輸出端鈕 a 、 b 之上的直流电压的大小和极性，决定于自整角綫路的信号电压的大小和相位，換句話說，也就是决定于位差角的大小和符号。放大器 ΦV 的輸出端联接在一个由电容器 C 和电阻 R_1 、 R_2 組成的微分回路 AE 的輸入端之上。电阻 R_2 之上的电压，含有一个与位差成正比例的分量，和一个近似地与位差微商成正比例而变化的分量。从电阻 R_2 取得的电压，加于倒相放大級 H 的柵极之上，这个倒相放大級是按照分段負載綫路組成的。在这种綫路中，为了得到两个大小相等而极性相反的电压，以加于电子管 J_3 和 J_4 的柵极之上，把电子管 J_2 的負載电阻 R_a 分成了两个相等的部分。一部分电阻接在电子管 J_2 的阳极电路中，另一部分电阻接在同一电子管的阴极电路中。这个倒相放大級应当調节到恰好使得：当电阻 R_2 上的电压数值为零时，电子管 J_3 和 J_4 中的两个电流是彼此相等的。

如果在微分回路 AE 的輸出端上，出現了一个信号电压，並且这个电压的极性是使倒相电子管 J_2 的电流增加的，那末，这就会使得电子管 J_3 的柵极电压降低，而电子管 J_4 的柵极电压增高。于是繞組 OB_1 中的电流减小，而繞組 OB_2 中的电流增加。这时，电动机中就有轉动力矩产生。电动机的电樞轉动时，將帶动負載 H 和自整角机 CH 的轉子向着使位差减小的一边而轉动。当微分回路的輸出电压的极性改变时，通过电子管 J_2 的电流就要减小，而这样就会使电子管 J_3 的柵极电压增加，而电子管 J_4 的柵极电压降低。于是，繞組 OB_1 中的电流增加，而繞組 OB_2 中的电流减小。这时，电动机將向另一边轉动。

电动机的轉动力矩，要随位差角的大小和位差角微商的大小而定。第一章中已經指出，引入按照微商的控制，可以提高隨从驅動的

穩定性，並減少過渡過程的持續時間。

激磁繞組 OB_1 和 OB_2 ，都接有兩個分路電阻（在圖8-9中，這兩個電阻沒有示出），以便在激磁電流的變化迅速時，減小這兩個繞組中所發生的過電壓。

這種電動機是用改變激磁電流的辦法來加以控制的線路，有如下的缺點：驅動的敏捷性低，並且在電樞電路中所接入的電阻之上，有很大的功率損失。

圖8-10中所示，是一個使用交流二相電動機的小功率隨從驅動的線路圖〔參32〕。電動機的繞組1經過一個裂相電容器 C 而接於交流電網，電動機的繞組2則接於電子管放大器的輸出端之上。當主令軸和執行軸之間有位差發生時，自整角線路就有一個信號電壓加於電子管放大器的輸入端之上（加在輸入變壓器 TP_1 的原繞組上）。在變壓器 TP_1 的部分副繞組上，接有一個微分回路 $\Delta\phi$ 。這個微分回路是按照雙 T 形濾波線路組成，並且是調諧到自整角線路的供電頻率的。這種回路的微分作用，已在第一章中詳加討論。這樣一來，加於放大管 J_1 的柵極之上的交流信號電壓，就是分別與位差角及其微商成比例的兩個信號之和。

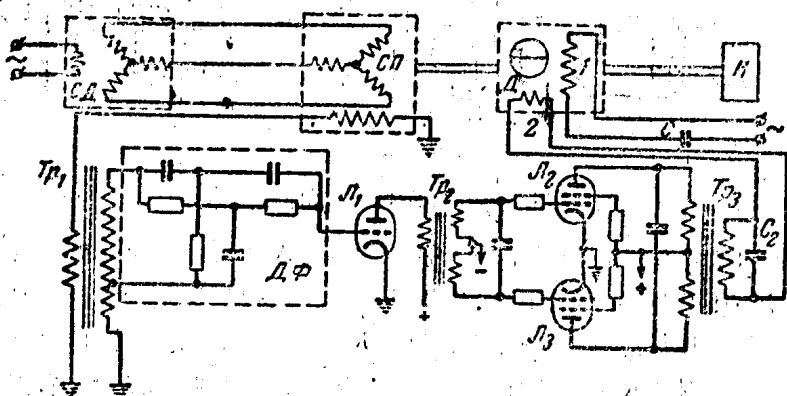


圖 8-10 使用電子管放大器和二相異步電動機的小功率隨從驅動的線路圖

電子管放大器具有兩個放大級。第一個放大級是一個三极管 J_1 。放大管的輸出級（功率放大器），是由兩個大功率的四极管 J_2 和 J_3 。按