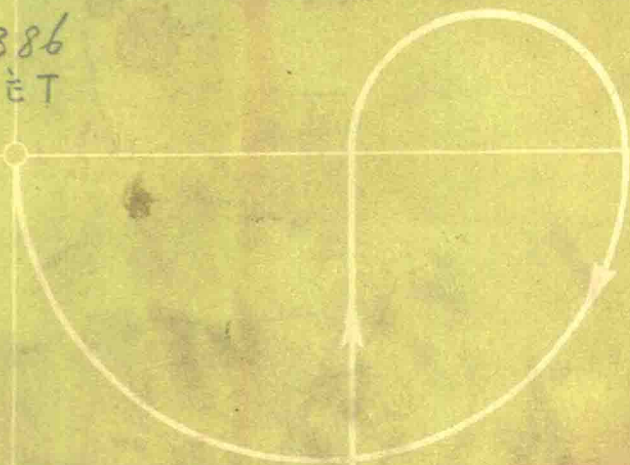


7386
MET

自动化丛书

7386
MET



无触点转换开关

〔苏联〕E. M. 馬尔蒂諾夫著

上海科学技术出版社

自动化丛书

25

无触点转换开关

〔苏联〕E. M. 馬尔蒂諾夫 著

吳培根 譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是“自动化丛书”之一。丛书内容包括自动学及远动学的理論,自动装置、元件和仪器的結構及应用等。丛书选题主要取自苏联及其他国家的有关資料,也包括国内編写的专题論著。本丛书由“自动化丛书編輯委员会”主編。

本书叙述由半导体三极管和矩形磁滯回綫鉄氧体磁心所构成的无触点轉換开关的工作原理,列举了各种实用綫路和有关的計算公式,并提出了一些实际建議。

本书可供自动化和远动化的工程技术人员及大专师生参考。

БЕСКОНТАКТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Е. М. Мартынов

Госэнергиздат · 1961

自动化丛书(25)

无 触 点 转 换 开 关

吴 培 根 译

自动化丛书編輯委员会主編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

大众文化印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印张 5 8/32 排版字数 114,000

1963年12月第1版 1966年4月第2次印刷 印数 6,501—9,300

统一书号 15119·1756 定价(科六) 0.60 元

前 言

在国民經济各个部門中实现生产过程自动化，是当前最重要的任务之一。

为了尽量采用自动控制装置和自动计算机，就要求应用有象电磁继电器那样的特性，而却没有机械触点的一种继电器轉換开关，因为在复杂的装置中，机械触点不可能保証足够迅速的動作和切实可靠的特性。

以下各种装置都属于无触点继电器轉換开关：在大訊号情况下工作（处于限幅工作状态）的放大器、触发器、多諧振蕩器、間歇振蕩器以及在计算机、自动装置和其他設備中执行邏輯操作的許多装置。

具有继电器特性的元件常常称为两位元件，因为它们只有两个位置，或是处于这一个位置，或是处于另一个位置，这和数学中的二进計数制相似，在二进計数制中亦只有两个不連續量（两个数字）——“1”和“0”。

电子管和半导体中的电子現象、离子管的电离現象和鉄磁材料的磁性現象等等，都可以利用来构成轉換开关。

在每一种被利用的現象中都存在某两个物理量之間的某种非綫性关系。在一定的条件下，这种非綫性关系能够造成从一个稳态到另一个稳态的跃变，这种过程是形成两位元件所必需的。

在叙述无触点轉換开关的作用原理之前，有必要先討論一下它們的特点。

第一，对有触点继电器轉換开关，其两个稳态很为明显，就是它的触点有允許通过或不允許通过电流的两种不同作用；

对无触点轉換开关，其两个稳态却是指某一个电参数的两个不同的状态，例如可以是电压或电流的两种不同的数值，或者是适当的电压脉冲和电流脉冲的两种不同的持續期。我們认为，无触点轉換开关与有触点继电轉換开关相似，当无触点元件处于“閉合”状态时，其輸出相应为“有效訊号”；当无触点元件处于另一状态，即相当于“断开”状态时，其輸出为“干扰”，这“干扰”显然应尽量小。

通常把有效訊号对干扰之比称为訊号干扰比 K ，在有触点继电轉換开关中， K 等于无限大，而在无触点轉換开关中，它有一定的限值，一般不大于几十：

$$K = \frac{I_{\text{訊号}}}{I_{\text{干扰}}} \text{ 或 } K = \frac{U_{\text{訊号}}}{U_{\text{干扰}}}$$

經驗表明，当 K 小于 10 时，无触点綫路的构成就很困难；当 K 在 10~20 范圍内时，一般就认为装置是在“是-非”的状态下工作，即这时的工作条件为，在綫路的輸入（或輸出）端上或是有訊号，或是沒有訊号。在这种工作状态下，用来构成无触点綫路的半导体三极管、磁心和其它各种元件，当它們的参数即使在很大范圍内改变时，亦不会影响綫路的工作性能。

第二，装置的状态应当是稳定的，装置本身不应当在于干扰脉冲的作用下自己貿然动作。有时，若装置的稳定性不够好，则即使 K 很大，它亦会严重影响整个装置的工作可靠性。

第三，装置应当保証能很方便地讀取結果（“讀出”所写入的訊息），以及有可能从一个单元向另一个单元傳送“写入”的訊息（例如相当“1”的状态），即各单元需具有放大作用。当这些单元串联或并联时，應該保証能消除后一单元对前一单元的反作用（应当沒有“逆流的訊息量”）。只有滿足了这一个条

件之后,才有可能将一些单独的轉換单元联接成整个綫路。

本书中所介紹的、由半导体三极管和磁心所构成的轉換装置是比較新穎的,目前在工业上已能掌握生产。它們具有极宝贵的性质:体积小,耐震和耐冲击性好,能在低电压的条件下工作,效率高和寿命极长。正由于具有了上述这些特点,所以在很多的技术领域中(早一些时期由于电子管存在缺点而无法采用无触点装置),現已能采用由上述元件所构成的无触点装置。

由于目前工艺制造水平的限制,使同一型号的半导体三极管和磁性元件各个单独元件之間的参数还不能完全一致,并且也还与温度和工作状态密切相关,这些是半导体三极管和磁性元件装置的缺点。

尽管有这些缺点,上述器件还是很成功地用在各种各样的装置中,因为各个单独元件参数所存在的差别以及周圍温度对各級綫路参数所产生的影响,可以通过适当的設計和計算綫路而使其减至极小。此外,它們亦并不是在所有場合都需在大幅度温度变化范圍內工作。

本书旨在向讀者介紹各种系統中的半导体三极管和磁性元件所构成的轉換开关,在断續訊息下的工作情况,以及这类綫路的設計原理和計算方法。

目 录

前 言

第1章 半导体三极管轉換开关	1
1. 面結型三极管的靜态特性和参数	1
2. 双稳态触发器	
3. 帶非綫性反饋的触发綫路	11
4. 不用偏移电压的触发器	20
5. 触发器的触发方法	21
6. 直接耦合的触发器	26
7. “与”和“或”邏輯綫路	28
8. 多諧振蕩器	31
9. 改善多諧振蕩器振蕩脉冲波形的办法	35
10. 单稳态触发器	3
11. 二进計数器和环形換接器	39
第2章 磁性元件轉換开关	46
12. 矩形磁帶回綫磁性材料的特性	46
13. 双拍移存器	52
14. 单拍移存器	64
15. 放电回路加控制的单拍移存器的計算基础	70
16. 通过半导体三极管耦合的移存器(磁心-三极管綫路)	84
17. 可逆移存器	89
18. 控制和換接綫路	9
19. 磁心的触发綫路	102
20. 环形計数綫路	109
21. 多位环形計数綫路	117
22. 磁性步級計数器	117
23. 脉冲电源(間歇振蕩器)	122
第3章 二进制数碼的譯碼器	128
24. 譯碼器的构成原理	128

25. 二极管譯碼器	129
26. 磁心-三极管譯碼器	131
27. 移存器-譯碼器	135
28. 二极管双級譯碼器	138
29. 坐标譯碼器	140
第4章 半导体器件和磁心参数的检测	146
30. 半导体器件的选择	146
31. 检查半导体三极管脉冲漏电的线路	149
32. 选择磁心的设备	150
33. 关于选择磁心和繞制繞組的一些实际建議	153
34. 扩大磁心线路工作温度范围的方法	155
附 录	158
参考文献	159

第 1 章

半导体三极管轉換开关

1. 面結型三极管的靜态特性和参数

为了在轉換綫路中采用半导体三极管，就必须知道一些对于轉換綫路工作有决定意义的基本电气性能和参数。通过靜态特性的分析，可以找出这些基本性能和参数。

在三极管中，所有的基本过程都决定于载流子的运动及其相互作用，即决定于电流。可見，在繪制靜态特性时，从合理的物理观点出发，不应当象电子管那样以电压作为独立变量，而应以半导体三极管回路中的电流作为独立变量。但是在討論具体装置的工作原理时，有时亦宜将三极管綫路視之为电压放大器。

在轉換装置中，如图 1a 所示的共发射极綫路为三极管最适宜的連接綫路。这种綫路的电流放大倍数很大，同时不用变压器就能使电压相位改变 180° 。

图 16 所示为 II13 型三极管按图 1a 綫路連接时的集电极特性。从这些特性可知，当集电极电阻为給定值时，为了使集电极电流达到最大值 $I_k \approx \frac{U}{R_k}$ （称为三极管的饱和电流），基极电流值需增加到 $I_b \geq \frac{I_k}{\beta}$ ，式中 β 为三极管的放大系

数①。这时三极管将处于开放状态。在开放三极管中集电极和发射极之间的电压降 U_{π} 为 0.1~0.5 伏, 而其间的直流电阻为 1~25 欧。

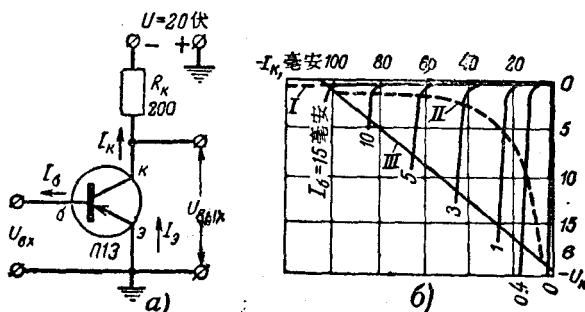


图1 a—三极管共发射极连接线路; б—П13 型三极管集电极静态特性曲线

I—饱和线; II—允许耗散功率; III— $R_K=200$ 欧, $U=20$ 伏时的负载线

当在基极上加反向电压(对发射极来说是正的)时,基极-发射极结闭锁,集电极电流减小到约 10~100 微安。当基极电压等于零或略大于零时的集电极电流称为不可控集电极电流,并以 I_{K0} 表示,这时三极管本身处于闭锁状态。电流 I_{K0} 经集电极-基极结通过。

闭锁三极管本身的直流电阻在几百千欧到几兆欧的范围内。

可见,面结型三极管在转换线路中的工作情况 and 通常的

① 当 $U=0.5$ 伏, $R_K=0$, I_K 为规定值时测得的系数 $\beta = \frac{I_K}{I_0}$, 称为三极管共发射极线路的平均电流放大系数。当发射极电流 $I_0=1$ 毫安时的平均电流放大系数值和三极管说明书上载明的在 $U_K=\text{常数}$ 时的微变电流放大系数 $\beta_K = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_0}$ 的数值差不多相等,这放大系数称为额定电流放大系数。——原注

电磁继电器显得很相似。用三极管构成的轉換綫路的优点是，动作速度极快，并且沒有机械接触点。如用 II 13 型小功率三极管按图 1a 綫路連接时，它能以比电磁继电器快几百倍的速度，很便捷地换接 100 毫安左右的电流。

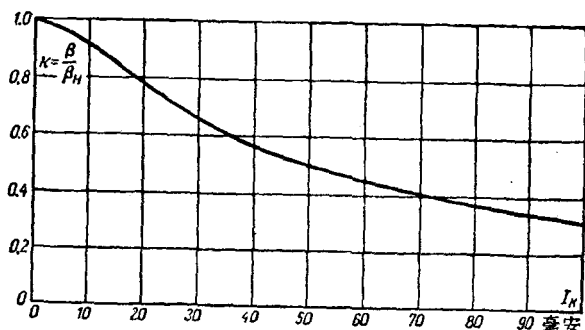


图 2 II 13~II 16 型三极管的 $\frac{\beta}{\beta_H}$ 和 I_K 的关系

三极管的电流放大系数 β 随着集电极电流的增加而减小 (图 2)。当 $I_K=100$ 毫安时，II 13 型三极管的 β 值只有 5~8。但应注意，这时功率放大系数，即集电极负载 R_K 取得的功率对供給三极管輸入端上的功率之比

$$K_M = \frac{R_K I_K^2}{U_{BX} I_0} \quad (1)$$

仍是相当大的。例如在上述情况，当 $U=20$ 伏， $I_K=100$ 毫安和 $R_K=200$ 欧时， $K_M \approx 300$ 。

现来討論三极管基极和发射极开路或接通时的情况。为此，三极管用图 3a 所示的等效电路来表示，这等效电路反映了发射极結和集电极結的整流閥特性。

集电极回路中的二极管 $\mathcal{A}_1$ 代表集电极結的单向电导，而 $\mathcal{A}_2$ 代表发射极結的单向电导。电阻 r_0 代表鍍或硅晶体的从

发射极結和集电极結到基极輸出端的体积电阻。电阻 r_K 和 r_e 相应为集电极結和发射极結的非綫性电阻。

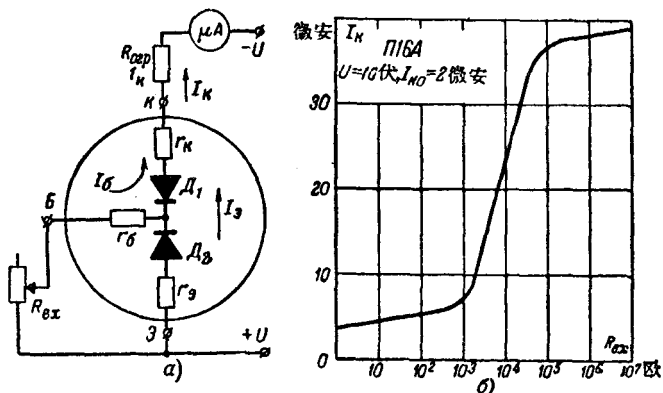


图 3

а—三极管在轉換开关装置中工作时的等效电路；б—集电极电流 I_K 和电阻 R_{BX} 的关系曲线

設三极管的基极回路开路，这时集电极 $p-n$ 結的反向电流 I_{K0} 从电源电压 U 經二极管 A_1 通过；同时，由于这 I_{K0} 亦經代表发射极結的二极管 A_2 通过，它将使三极管稍微开放，引起集电极电流有所增加。这集电极电流照样又增加三极管的开放，結果在发射极和集电极回路中将流过电流

$$I_K = I_{K0}(\beta + 1) \quad (2)$$

由式 (2) 可得到以下結論：当 I_{K0} 很大而負載电阻很小 (小于 1 千欧) 时，基极回路不允許开路，因在这种情况下可能会使三极管损坏，特别是在环境温度較高时，更其危險。

若把基极和发射极短接，則电流 I_{K0} 就按电阻 r_e 和 r_K 分配。因电阻 r_e 系非綫性，在低电压下，其值比 r_K 值大，所以

与基极开路的情况相比，現在加在二极管 $\mathcal{A}_2$ 上的电压將較小。由于 r_6 比 r_3 大，故 I_{K0} 中只有不大的一部分通过发射极結，三极管亦几乎未能自行稍微开放。

基极和发射极短接时的集电极电流称为初始电流 ($I_{K.H}$)。这电流基本上表征着基极的体积电阻 (r_6)。用在轉換开关装置中的三极管，如果工作时不用閉鎖电压，則希望它們的初始电流值 $I_{K.H}$ 不大于 I_{K0} 的两倍。

由此可見，三极管的閉鎖不仅可采用外加閉鎖电压，亦可采用将基极和发射极短接的方法来实现。后一种控制三极管的方法相当可靠，已广泛应用在各种轉換开关装置中。

但在实际綫路中，基极和发射极不是短接，而是經一定数值的輸入电阻 (R_{bx}) 連接起来的。这能造成不希望有的三极管稍微开放。

为了估計輸入电阻 R_{bx} 允許的数值，可用实验方法作出集电极电流对电阻 R_{bx} 的关系曲綫，由这曲綫可知，电流 I_K 随着 R_{bx} 的增加而增加，但它們之間的关系为非綫性的；由这曲綫亦可得到这样的結論，即 R_{bx} 的数值不希望大于 1 千欧。

以脉冲变压器輸出繞組上的单极性脉冲加至基极上使三极管开放，是按上述方法控制的一个典型例子。

以面結型三极管組成的轉換开关綫路，一般是在較大的控制訊号情况下工作的，訊号的幅值应足以使三极管完全开放。在这种情况下，三极管显示的性能和在一般低频放大綫路中工作时的不同。如在图 1a 的綫路中，当輸入脉冲电流很大时，三极管能保持飽和状态；也就是說，在輸入电流切斷之后，在一定時間內管子仍保持开放状态。这是由于以下原因造成的：当三极管完全开放时，在它的基极上出現过剩的非基

本載流子^①的濃度；而又因這時集電極的電位很低（對發射極而言），所以當輸入電流切斷之後，非基本載流子需在一定時間內繼續着復合過程，這樣就好似延長了輸入脈沖的作用時間。因此，三極管關閉所需的時間比接通所需的時間要長1~2倍。

這種性能有時可能是有用的。例如持續期為10~20微秒的脈沖，借三極管即能延長到30~50微秒。

順便提一下，半導體二極管（主要是面結型）亦有上述積貯非基本載流子的性能。因此，二極管能用來作為象普通的電容器那樣的電能積貯器，它們的區別僅在於：在二極管中只有加正向電壓時，才積貯電能；而在一般的電容器中，加任何極性的電壓都能充電。

二極管和電容器的這種差別是十分重要的，它在轉換開關裝置中能加以利用。

在結束本節時，來討論一種自動裝置中常用的作為“非”邏輯元件的共發射極綫路，它實質上起着反相邏輯運算的作用。

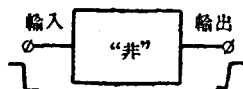


圖4 “非”邏輯元件的表示符號

若在這元件的輸入端上不加訊號，則在其輸出端上出現訊號。若在這元件的輸入端上有訊號，則其輸出端上就沒有訊號（就是說，若以負訊號

加在其輸入端上，則其輸出端上就“非”負訊號，或相反）。這種綫路常稱為反相器，因為它將輸入訊號的相位反轉180°。

① 半導體每層中所特有的、由其中所含雜質種類決定的載流子，稱為基本載流子；而從外面注入的相反型的載流子，稱為非基本載流子。例如在p-n-p結型三極管中，對基極來說電子是其基本載流子，而從發射極注入其中的空穴是非基本載流子。——原注

图 4 所示为表示这种反相器线路的符号。

2. 双稳态触发器

以上讨论的线路，实质上是一个单极开关。若把这线路（图 1a）的输出端和类似的第二个线路的输入端相连，再把第二个线路的输出端和第一个线路的输入端相连，即构成一种双稳态转换开关——触发器（图 5）。

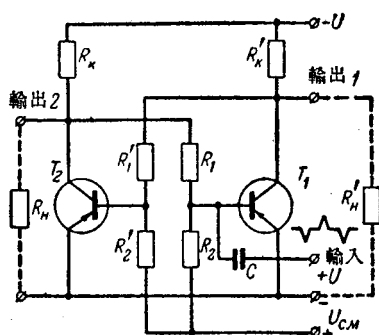


图 5 带偏压的触发线路

和类似的电子管线路一样，在这线路中总是只有一只三极管开放，而另一只闭锁。例如，若左方三极管 T_2 开放，则接在三极管 T_2 集电极和正偏压之间的分压器 R_1 、 R_2 上的正电压就加在三极管 T_1 的基极上，使 T_1 闭锁。三极管 T_1 集电极上的电压差不多和电源的负电压相等，前者经分压器 R_1' 、 R_2' 加在三极管 T_2 的基极上，使 T_2 可靠地开放。这样，线路就处于一个稳态。

若要使线路转向另一个稳态，则需要以负的窄脉冲加在闭锁三极管的基极上，或者以正脉冲加在开放三极管的基极上。

計算触发綫路时，通常規定輸出至外負載上的輸出电压值，或者規定触发器的供电电压。在这两种情况下，触发器的計算方法基本上相同，只不过計算的步序不同。因此首先来討論触发器元件参数选择的条件，然后再举例說明对应第一种和第二种情况的計算步序。

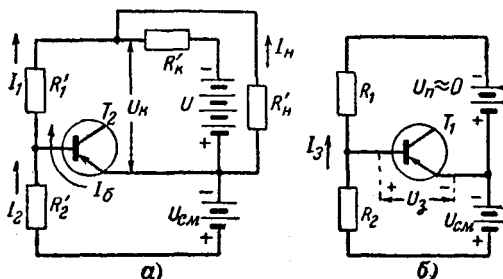


图 6

a—触发器中开放三极管的等效綫路；b—触发器中閉鎖三极管的等效綫路

图 6a 和 6b 相应为图 5 綫路中开放三极管和閉鎖三极管的等效綫路。

等效綫路中所用符号为

U ——电源电压；

U_K ——閉鎖三极管集电极对发射极的电压，即输出电压；

U_H ——开放三极管集电极和发射极之間的电压降（当三极管完全开放时，此值差不多等于零）；

U_{CM} ——偏压电源的电压；

U_3 ——閉鎖三极管基极和发射极之間的电压；

I_6 ——开放三极管的基极电流；

I_H ——閉鎖三极管集电极上所接負載中的电流；

I_1 、 I_2 和 I_3 ——各分压器电阻中的电流。

計算由面結型三极管构成的触发器时，必須选择开放三

极管集电极的电流值 I_K 。这可根据以下各点来考虑。

第一,当触发器的输出端上带直流负载 R_H 时,为了不太多地增加电源电压,以及考虑到要尽量少耗用电源能量,电流 I_K 应大于或等于由下式决定的数值

$$I_K \geq \frac{2.41 \beta [I_H R_2 (U_K - U_3) + U_K U_3]}{R_2 [\beta (U_K - U_3) - 2.41 U_K]} \quad (3)$$

式中 U_K ——闭锁三极管集电极上的电压,即外负载 R_H 上的电压 $I_H R_H$;

I_H ——外负载中的电流。

平均放大系数 β 可根据三极管的集电极静态特性来决定,当手头缺乏这个资料时,可采用三极管说明书中的数据。说明书中通常载明的是共基极线路的额定电流放大系数 α_H (或 h_{21}),所以可利用图 2 中的曲线来确定当集电极电流为规定值时的 β 值。为此,必需预先按下式求出共发射极线路的额定电流放大系数

$$\beta_H = \frac{\alpha_H}{1 - \alpha_H} = \frac{h_{21}}{1 - h_{21}} \quad (4)$$

第二,当环境温度变化时,三极管中的电流 I_{K0} 会发生很大变动。因此集电极负载电阻值 (R_K) 必须选得足够小,以能使在全部温度变化范围内,由 I_{K0} 在它上面所造成的电压降比三极管从闭锁转为开放时的电压降的变化小得多;换言之,集电极的工作电流 I_K 应选得比 I_{K0} 大很多倍,即

$$I_K \geq (10 \sim 20) I'_{K0} \quad (5)$$

式中 I'_{K0} ——最高计算温度时的集电极不可控电流。

面结型三极管中,温度每增加 10°C , 电流 I_{K0} 就大约增加一倍。因而电流 I'_{K0} 可按下式求得

$$I'_{K0} = I_{K0} \times 2^{\frac{t' - t}{10}} \quad (6)$$