

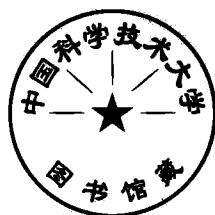
# 遥测译文集

科学出版社

72.84  
112

# 遙測譯文集

林 開 译



科學出版社

1965

本文集取材于“远距离控制和测量”(Управление и измерение на расстоянии, II, III, IV, Изд. иностранной литературы)一书,其原始资料为美国 1955、1957 和 1958 年举行的遙测专业会议上发表的论文。

在本文集中共选择了遙测用的元件与组合件、遙测系统及数据记录和处理等方面的文章共三十篇。在描述设备的部分论文中列有一些试验数据,在部分文章中还谈到了有关遙测组合件的设计和计算等。

本文集可供无线电遙测专业的工程技术人员、科学研究人员及高等院校师生参考。

DT13/18

## 遙 測 譯 文 集

林 閣 译

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行,各地新华书店经售

\*

1965 年 9 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1965 年 9 月第一次印刷 印张:12 3/8 插页:2

印数:0001—2,000

字数:329,000

统一书号:15031·207

本社书号:3312·15—8

定价:[科七] 2.10 元

# 目 录

## 一、元件、组合件及部件

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 小型弹上电子交换子·····                   | 1  |
| 磁控管式电子束交换子——遙測中的新型仪器·····        | 13 |
| 微型遙測传感器的新研制·····                 | 28 |
| 硅三极管在遙測设备中的应用·····               | 39 |
| 低电平信号电子交换子·····                  | 48 |
| 半导体三极管电路在遙測中的应用·····             | 57 |
| 应变计用的半导体三极管频率振荡器·····            | 71 |
| 使用半导体三极管和磁性材料的脉宽调制器·····         | 90 |
| 与直流应变式传感器配套工作的电流控制频率的半导体振荡器····· | 98 |

## 二、系统传输设备

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 结果为数字形式的压力的精密遙測系统·····          | 120 |
| 时分制脉冲遙測系统·····                  | 133 |
| 直流弱信号脉宽调制-调频遙測系统·····           | 143 |
| 半导体三极管相位调制的压力和加速度遙測系统·····      | 152 |
| 低电平信号快速转换系统·····                | 161 |
| AN/AKT-14 型脉冲编码调制遙測系统设备的概述····· | 171 |
| 人造地球卫星的编码遙測系统·····              | 189 |
| 调频-调频型半导体三极管遙測·····             | 200 |
| X-17 型导弹的遙測设备·····              | 218 |
| 宽频带的厘米波无线电遙測系统·····             | 232 |
| 脉宽调制-脉幅调制的变换系统·····             | 245 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 探险者 I 号和 III 号人造地球卫星的测量设备 ..... | 258 |
|---------------------------------|-----|

### 三、数据记录和处理设备

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 地面遙測站的新型石英穩頻接收机 .....            | 273 |
| 雷达信标机在遙測中的应用 .....               | 295 |
| 应变式传感器的副載頻振蕩器寄生电容的补偿 .....       | 303 |
| 导弹遙測数据的自动化处理系統 .....             | 309 |
| 磁带在記錄、处理和分析数据中的应用 .....          | 324 |
| “維克托尔 272 系統”飞行試驗信息記錄系統 .....    | 338 |
| 遙測数据自动处理系統 .....                 | 360 |
| 遙測数据磁带記錄重发器 .....                | 366 |
| 波段自动轉換开关——提高被轉換的遙測信号分辨率的仪器 ..... | 384 |

# 一、元件、組合件及部件

## 小型彈上电子交換子

久-布阿

### 引 言

从几个不同的信息源传输信息时,可以使用的只是一条信道,这时信息源应该借助交换子依次与此信道接通。采用交换方法可以大大增加被遙測参数的数目。为了精确地传输每个参数的高频分量,应当以足够高的速度进行交换。例如:交换速度为每秒钟2500个脉冲的交换子,可以用来传输25个参数,其交换速度为每个参数每秒钟100个脉冲。这时,每个被测变量所包含的频率分量可达35周<sup>1)</sup>。重复频率为2500周的脉冲可用标准的RDB<sup>2)</sup>調頻-調頻型遙測系統的70千周通道进行传输。上述实例说明使用一个副載頻传输25个不同参数的方法,而且每个被传输参数的頻帶比用标准的RDB調頻-調頻型遙測系統的前六个副載頻中任何一个副載頻所传输的頻帶还要寬些。当减少被交换变量的数目时,每个变量的頻帶便可成比例的增加。

机械交换子是一个由电动机带动旋轉的轉換开关。为了获得合适的使用寿命和低的噪声电平,轉換开关的旋轉速度通常約为5轉/秒,但是甚至在这样的速度下,也很难預言它的使用寿命。为了避免由于磨損和在振动下变形以及温度和湿度变化的影响而

1) 在时分制遙測系統中,为保证一定的測量精度,通常取采样频率为信号最高频率的3倍左右。——译者

2) RDB——Research and Development Board (RDB)美国国防部科学研究委员会。——編者

引起的強烈噪声或者完全失效，对机械轉換开关必須进行非常精确的装配和正确的維護。机械交换子的交换速度随冲击、振动和电源电压的变化而变化，这就給遙測系統接收方的通道区分带来了困难。为了补偿速度的变化，通常在机械交换子之旁增設电子开关电路，这就增大了整个装置的外廓尺寸和功率消耗。

机械交换子是一个慢速轉換装置，容易磨損和遭受外部影响，这些缺点就是必需制作电子交换子的基本原因。

### 对电子交换子提出的要求

电子交换子应能进行高速轉換，以便傳輸寬頻带变量。每个交换元件在动作时都不應該使信号衰减，但是在其它場合下，交换子对于信号又必須呈现出无穷大的阻抗，以便消除各通道之間的交叉干扰。交换子必須具有低的噪声电平、足够的使用寿命，且能在冲击、振动和环境温度变化的条件下，可靠地工作。

为了簡化接收方的通道区分过程，电子交换子应以恆速进行交换；这时應該保証交换速度具有很寬的变化范围，以便交换子能与具有不同頻带的各种副載頻配合使用。在导弹的遙測系統中使用的交换子，还應該具有小的外廓尺寸和不大的功率消耗。

### 电子交换子的工作

**总述** 图 1 所示为电子交换子的方块图。該图表明交换子各单元之間的功能联系。交换速度决定于普通的非同步多諧振荡器，其頻率实际上不受电源电压和环境条件变化的影响。轉換頻率的变化范围很寬，是通过延时电路中的电容器达到的。来自多諧振荡器的脉冲进入换算电路，换算电路便产生电压脉冲并将这些脉冲在二极管开关之間进行分配。二极管开关电路之一如图 2 所示，此电路与輸出电压在 0—5 伏范围内变化的信息源相連接。若控制电压为負，則两个二极管全部截止，而电路的輸出端与其輸入端便被两个二极管的反向电阻所隔离。若控制电压为正，且其值不小于 5 伏时，則两个二极管便都导通，这时，电路輸出端便通

过二极管正向电阻与其输入端连通。

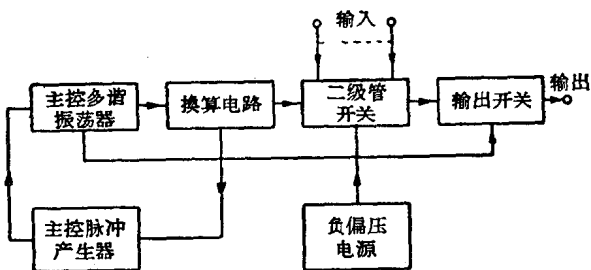


图1 电子交换子方块图

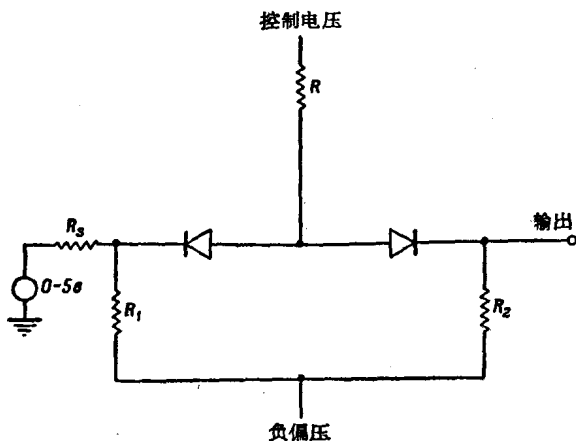


图2 二极管开关电路

为保证交换子很好地工作，必须使二极管满足一系列的要求，例如：二极管应有很大的反向电阻、很小的正向电阻、分布电容不大于10微微法以及很高的稳定性。热离子二极管满足了前三项要求，但由于具有不同的放射电位且需要较大的加热功率（一个开关电路需要2瓦）而未能获得应用。半导体二极管的优点在于它们不受电源电压的影响且具有很小的体积。点接触型和面结合型锗二极管不适用于二极管开关电路，因为它们反向电阻（特别是在高温下）不够大。硒二极管虽然反向电阻很大，但却具有很大的分布电容，这就限制它不能在很高的转换频率下使用。而面结合型

硅二极管具有最佳特性：它有很高的正向电导、很大的反向电阻、較小的分布电容和良好的稳定性<sup>[1]</sup>。

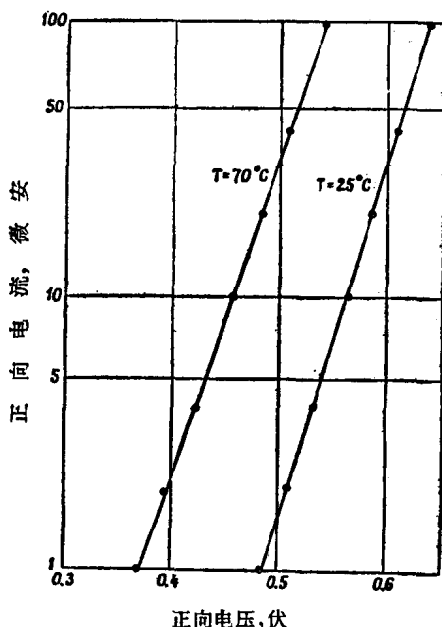


图3 硅二极管的正向特性

## 二极管开关

由于二极管开关 (图 2) 的精度、快速动作和工作可靠性都取决于硅二极管的特性，因此，首先应该仔细研究一下它们的特性，这可以建立一个简单的二极管开关等效电路。

流过面结型二极管内  $p-n$  结的电流的理论表达式具有如下形式<sup>[2]</sup>：

$$I = I_s(e^{KV} - 1), \quad (1)$$

式中  $K = q/kT$  ( $q$ ——电子电荷； $k$ ——波尔兹曼常数； $T$ ——绝对温度)。在室温条件下， $K$  值在理论上应该等于  $39^{-1}$  伏，然而

面结型  $p-n$  结的几何面积可使  $K$  值降低约达此数值的  $1/2$ <sup>[3]</sup>。正向电流应随电压的增高按指数曲线增大，而与  $K$  值无关，反向电流则按渐近线的形式趋于恒定的饱和值  $I_s$ ，此饱和值取决于构成  $p-n$  结的材料和温度。

在正向电压约达几毫伏时， $e^{KV} \gg 1$ ，且表达式 (1) 可简化成下式：

$$I = I_s e^{KV} \quad (2)$$

或者取对数得：

$$\lg I = \lg I_s + KV \lg e. \quad (3)$$

对于典型的硅二极管， $\lg I$  与  $V$  的比例关系曲线如图 3 所示。从图上可以看出：当电压变化时，电流的变化确实具有指数变化的

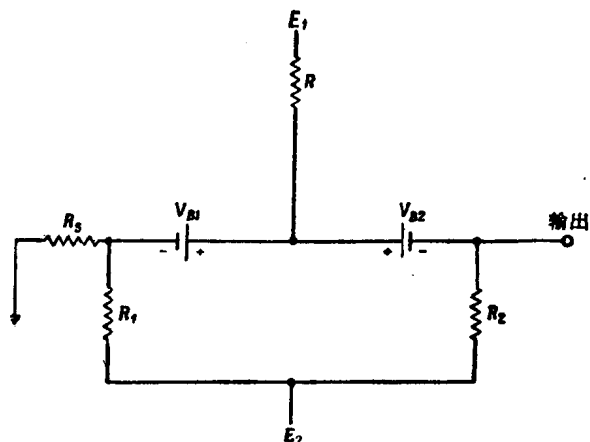


图 4 直流二极管开关的等效电路

特性。在某些被测试的二极管中,当电流小于 5 微安时,这个比例关系偏离了理论值 (3),但是对于所有的二极管来说,当电流大于 10 微安时,电流值和电压值都能满足方程 (3)。使用改变图 3 所示直线斜率的方法对于这个单纯被测试的二极管来说,可以求得  $K$  值,在室温条件下,此  $K$  值不等于理论值  $39^{-1}$  伏,而为  $30.7^{-1}$  伏。当温度为  $70^{\circ}\text{C}$  时,  $K$  值比绝对温度的比值降低一倍,并开始与理论值相适应,等于  $27.2^{-1}$  伏。

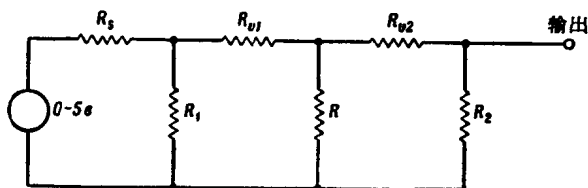


图 5 交流二极管开关的等效电路

当二极管开关 (图 2) 闭合时,控制电压便引起电流  $I_B$  的流动,此电流按照表达式 (2) 在每个二极管上产生压降。若输入信号等于零,则图 2 所示电路可用图 4 所示等效电路代替,其中每个二极管都可以用电压为  $V_B$  的电池来表示。图 4 中的电阻和电压均

应如此选择,亦即,使之满足比例式

$$\frac{E_1 - V_B}{R} = -\frac{E_2}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}, \quad (4)$$

如果此方程完成的不够精确,则将有不大的电流流过信号源的电阻  $R_s$ , 因此,在输出端便将出现失去平衡的信号。由于  $R_s$  之值和失去平衡的电流都很小,所以这个信号可以忽略不计。例如:若  $R_s = 2500$  欧,失去平衡的电流等于 4 微安,则偏压将等于 10 毫伏,仅为满刻度值(5 伏)的 0.2%。

失去平衡的另一个原因可能是在两个二极管  $V_B$  上的电压不相等,但是经验证明,任何时候都可以选出一对二极管,它们在很宽的温度范围内具有相同的电压  $V_B$ 。在表 1 中列出了在三种温度条件下,当通过二极管的电流为 20 微安时,四对二极管的电压值。当温度为 104°C 时,这四对二极管的最大电压差为 11 毫伏,这对于满刻度值为 5 伏来说,则约为 0.2%。

表 1 在三种温度条件下,当通过电流为 20 微安时,四对二极管的电压变化值

| 二 极 管 | 在不同温度条件下,各二极管上的电压降,毫伏 |      |       |
|-------|-----------------------|------|-------|
|       | 25°C                  | 70°C | 104°C |
| 1     | 580                   | 476  | 407   |
| 2     | 582                   | 482  | 415   |
| 1—2   | -2                    | -6   | -8    |
| 3     | 578                   | 479  | 414   |
| 4     | 573                   | 474  | 403   |
| 3—4   | 5                     | 5    | 11    |
| 5     | 570                   | 467  | 400   |
| 6     | 572                   | 469  | 397   |
| 5—6   | -2                    | -2   | 3     |
| 7     | 554                   | 452  | 378   |
| 8     | 556                   | 450  | 377   |
| 7—8   | -2                    | 2    | 1     |

在二极管开关的输入端加上信息源的输出电压便导致通过各二极管的电流发生变化;这时,每个二极管便可用一个可变电阻

$R_V$  代替,此电阻之值可用对表达式(2)进行微分的方法确定,即

$$\frac{dI}{dV} = I_s e^{KV} K = IK, \quad (5)$$

$$R_V = \frac{dV}{dI} = \frac{I}{IK}. \quad (6)$$

等效电路如图 5 所示。若  $R_1$  和  $R_{v1}$  和  $R_{v2}$  都很小,则二极管开关的传输系数实际上等于 1。表 2 列出了在表 1 中分析过的 8 个二极管的  $R_V$  值,这些电阻是当通过电流为 33 微安和温度为 25°C 时,按公式(6)确定的。

对于其它的温度条件,  $R_V$  之值应该乘以绝对温度的比值。例如:在 100°C 时,  $R_V$  之值比其在室温条件下增大 25 %。因为  $R_1$  和  $R_2$  之值均为 1 兆欧,而  $R$  近似等于 0.5 兆欧,所以由于  $R_{v1}$  和  $R_{v2}$  的存在,信号的衰减便小到可以忽略不计。从图 5 中可以看出,开关电路的输入电阻是由并联电阻  $R_1$ 、 $R_2$

表 2 当通过电流为 33 微安和温度为 25°C 时,各二极管的电阻值

| 二 极 管 | 电阻 $R_V$ , 欧 |
|-------|--------------|
| 1     | 1020         |
| 2     | 990          |
| 3     | 960          |
| 4     | 955          |
| 5     | 980          |
| 6     | 1025         |
| 7     | 960          |
| 8     | 955          |

和  $R$  所决定。因此,输入电阻等于 250 千欧,当工作频率较低时,可以获得很大的输入阻抗。

若将控制电压降低到零点以下从而断开二极管开关时,按照方程(1)便应有饱和电流  $I_s$  反向流过这两个二极管。但是反向电流的理论数据和实验结果并不相符。正如我们所预期的结果一样,反向电流并不达到饱和值,而是随着反向电压的增高达到一定的数值,此数值取决于二极管的特性和温度。从反向电流的各种不同的测量结果中可以看出,当电压为 20 伏和温度为 80°C 时,平均电流不超过 0.1 微安。反向电流随着温度的下降按指数规律减小,在 25°C 时,反向电流不超过 0.001 微安。漏泄电流的影响可分析图 5 确定。当开关断开时,漏泄电流流过串联电阻  $R_1$ 、 $R_{v1}$  和

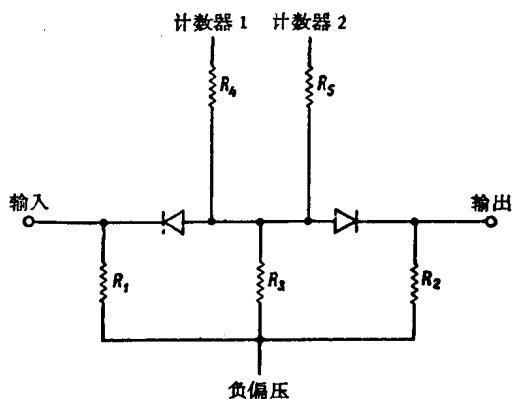


图 6 二极管开关电路

$R_{p2}$ , 因而当开关閉合时, 便在其輸出端出現失去平衡的信号。在  $85^{\circ}\text{C}$  时, 这个电流可等于 2 微安, 而偏压将达到 10 毫伏。可以預期, 在不久的将来, 二极管的特性将会得到显著的改善。特别是反向电流将会很小。这就使得可以在較高的温度条件下将二极管使用在重合电路中。

应该指出: 輸入电阻只是在开关閉合时才等于 250 千欧。当

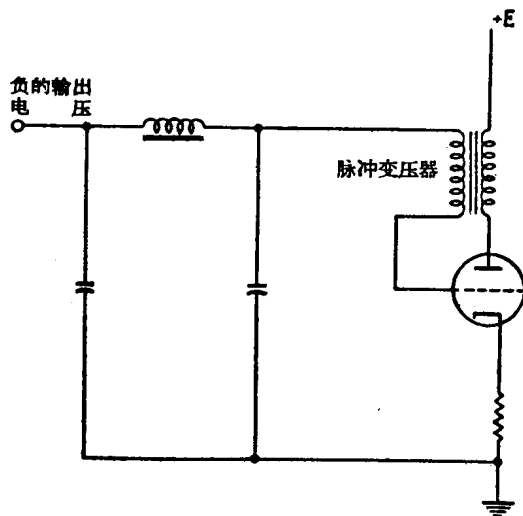


图 7 负偏压电源

开关在各脉冲之間的时间間隔中断开时,便应有 30 微安的电流由于外部电源的作用而流过电阻  $R_1$ 。

**控制电压** 控制各开关的脉冲是由两个普通的换算电路通过二极管矩陣解碼器送来的。图 6 所示为二极管开关电路,此电路与两个换算电路的输出端是这样连接的,即只有当两个换算电路的输出脉冲相重合时,其开关才能閉合。为了达到簡化的目的,电阻  $R_3$ 、 $R_4$  和  $R_5$  以及两个换算电路可用一个电阻  $R$  和一个电压源来代替。

**負偏压电源** 在研制小型交换子时,必需解决的問題之一是建立二极管开关的負偏压电源。图 7 所示間歇振荡器电路是这个問題的答案,它的体积小,通道消耗功率少,屏极效率高且有良好的調节特性。

**区分裝置的同步** 图 1 所示輸出开关和主控脉冲产生器都不是交换子必不可少的組成部分,它們的用途是获得地面区分裝置的同步信号。輸出开关是一个简单的二极管电路,它能在每个脉冲周期的某一段時間內保持其輸出电压等于給定值。

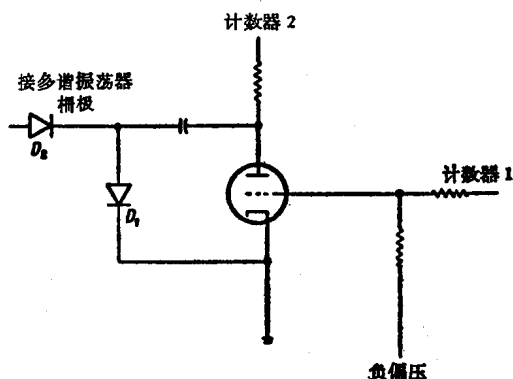


图 8 主控脉冲产生器

保証地面区分裝置与装在飞机上的交换子同步工作的主控脉冲是由图 8 所示电路产生的。在一个二极管开关的輸入端加上相应的电压,控制开关的計数器的电压便通过二极管  $D_1$  对电容器充电并通过二极管  $D_2$  使此电容器放电,还能控制多諧振荡器的轉

換,將它的延遲時間拉長到需要的數值。

主控脈沖和開關電路的輸出電壓示于交換子輸出電壓的波形圖上(圖9)。在每個脈沖周期的一半時間內,輸出電壓保持等于1.5伏,而主控脈沖的持續時間等于三個脈沖周期。

**轉換時間** 就截止狀態下的分布電容來說,硅二極管是所有半導體管中最好的(其分布電容不超過10微微法)。使用這種二極管可以進行高速轉換。當電壓在輸出端保持為1.5伏時,已閉合的開關的輸入二極管並不導通。當在脈沖周期一半的時間內所發生的這種狀態結束時,輸出電壓便按指數規律增高,其數值決定于被交換電壓之值且具有時間常數 $RC$ ,其中 $R$ 是圖2所示電阻, $C$ 是其余全部二極管分布電容的總和。在輸入二極管導通和開關處於閉合狀態的全部時間內,輸出電壓繼續上升。在室溫下其上升時間僅為45微秒,在高溫( $75^{\circ}\text{C}$ )下,截止的二極管的漏泄電流降低了二極管分布電容的充電速度,其上升時間則延長到100微秒(圖10)。圖10所示轉換速度是每秒鐘2250個脈沖,這就是說,15條信息通道中的每一條通道每秒鐘都被交換125次<sup>1)</sup>。使用分布電容更小的二極管可以增高轉換速度2—3倍。當輸入阻

抗很小時,還可達到更高的轉換速度。

**輸出** 從圖5中可以看出,二極管開關的輸出阻抗決定于串聯的信號源內阻、電阻 $R_{v1}$ 和 $R_{v2}$ ,亦即約為2000歐,二極管開關的負載電流應該足夠小,以避免破壞二極管上電壓降的平衡。在二極管開關的輸出端子上

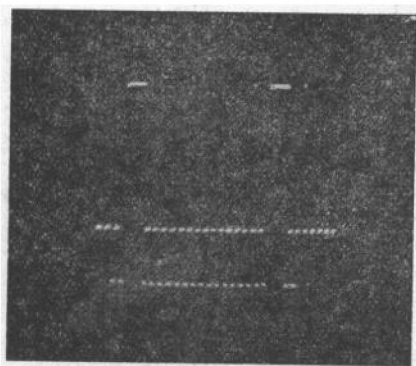


圖9 交換子的輸出電壓

連接一個電容器,便可使信息脈沖的上升時間增大。通過實驗得

1)  $2250/125=18$  即系統共有18條通道,其中15條通道用來傳輸信息,其余3條為系統本身的勤務通道。——譯者

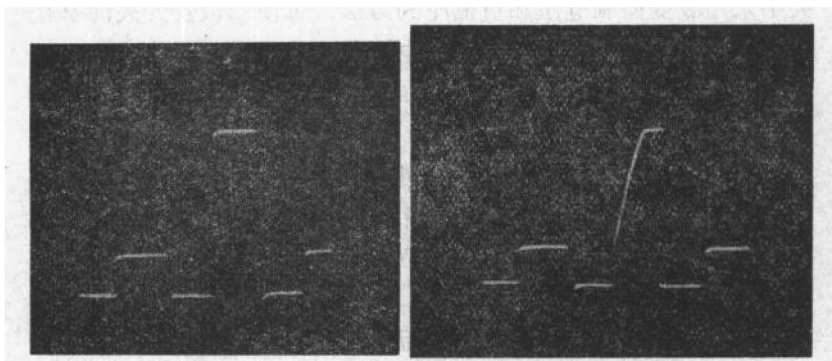


图 10 当温度为 25°C (左图) 和 75°C (右图) 时, 输入电压 (5 伏) 的交换  
知: 由并联的 1 兆欧电阻和 20 微微法电容器所组成的负载并不显著地损坏脉冲波形。

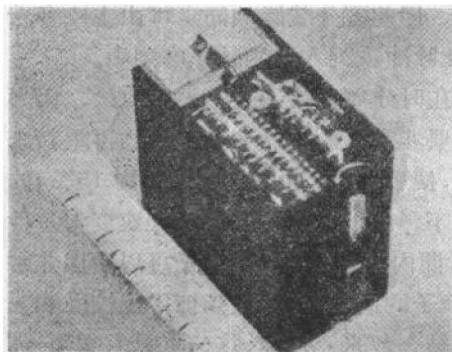


图 11 电子交换子

灯丝电源中消耗 15 瓦的功率。交换子的体积约为 557.6 厘米<sup>3</sup>, 使用寿命超过 5000 小时。图 12 所示为交换子的输出电压波形图, 在其全部输入端都加有相同的正弦电压, 其频率为 125 周。在每个脉冲周期的一半时间内, 输出电压保持为 1.5 伏。应该指出, 在二极管开

**结构设计** 上述电子交换子是一个超小型组合件, 如图 11 所示。它有 15 个输入端, 其中每个输入端都加有在 0—5 伏范围内变化的信号电压。交换子的转换频率为每秒 5000 个脉冲, 从 150 伏电源中消耗 4 瓦的功率, 从

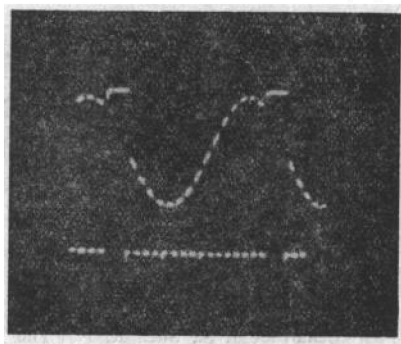


图 12 正弦电压的交换 (125 周)

关中采用改变控制电压和負偏压的方法，可使二极管开关能够在超过 1 伏的任何正的或負的輸入电压下工作。

## 应 用

很长的使用寿命和工作可靠性是电子交换子在連續作用的裝置中以及在长期运行的地面設備中，得到应用的基本条件。电子交换子能够高精度轉換大量的独立变量，其中每个变量都具有足够寬的頻譜，因此，它是飞机进行地面和飞行試驗的有效工具，而这些試驗都需要在一个或几个产品上能够多次使用的仪表。

从前面对二极管开关的描述中可以看出，它既可用于对輸入信号进行周期交换，还可以用来在区分裝置中区分脉冲。由于二极管开关是以恆速进行交换，因此区分裝置的同步可由主控多諧振蕩器产生的脉冲来完成，此脉冲被列入总的脉冲序列中。

看来，电子交换子应用在时分制多路系統中最为有效，因为对于頻分制遙測系統，則需要非常高的交换速度。我們再重新来研究一下引言中所举的例子，便可看出，70 千周（頻偏为 15%）的副載頻在很高的信噪比情况下，可以保证最大的交换速度为每秒 2500 个脉冲，而在这个時間內，现代化的交换子可以給出非常高的速度。使用快速电子交换子的遙測系統，應該把零点校准和灵敏度校准与很好的頻率特性結合起来。目前，这一点只有調頻-調頻型遙測系統才能达到。可举例如下：在工作速度为每秒 20000 个脉冲的交换子的基础上，建立一个 20 路的时分制系統，其信号变化的最高頻率在每条通道中約为 350 周，或者相应地系統具有 100 条通道，則其信号变化的最高頻率便为 70 周。这种系統具有一系列的优点。即系統很簡單，外廓尺寸小，且能保证高精度。

## 参 考 文 献

- [1] Pearson G. L., Sawyer B., Silicon P-N Junction Alloy Diodes, *Proc. IRE*, **40**, 1348—1351 (1952).
- [2] Shockley W., Electrons and Holes in Semiconductors, 90, D. Van Nostrand Co., 1950.
- [3] Schaffner J. S., Shea R. F., The Variation of the Forward Characteristics of Junction Diodes with Temperature, *Proc. IRE*, **43**, 101, (1955).