

# 半导体器件参数测试自动化

〔苏联〕Ю. С. 卡尔普 主编

蔡连超 程文霖 译



国防工业出版社

## 內 容 簡 介

本书对几种半导体器件参数的自动测试方法和自动测试设备进行了比较详细的描述。描述的设备中包括中功率脉冲晶体管的自动分类机和可容纳100000只晶体管的小功率晶体管寿命试验台。此外，书中还讨论了隧道二极管直流参数、小功率晶体管极限振荡频率和高压整流二极管击穿电压的自动测试方法等。

本书可供从事半导体器件测试工作和生产半导体器件测试设备的技术人员阅读，也适于高等学校和中等专业学校有关专业的师生参考。

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

〔苏联〕Ю. С. Карп 主编

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК  
ЛАТВИЙСКОЙ ССР

## 半导体器件参数测试自动化

蔡連超 程文霖 译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092  $1/32$  印张 5  $1/4$  112 千字

1966年5月第一版 1966年5月第一次印刷 印数：0,001—4,750册

统一书号：15034·1130 定价：(科六)0.65元

## 譯 者 序

現代無線電元件的生產，從整個工藝過程到最後的成品分類，都在向自動化的方向發展。晶體管的自動分選設備，作為晶體管自動生產綫中的組成設備之一，或者作為獨立的測試設備，在國外已經使用得相當普遍。測試速度、工作範圍和測試準確度等性能方面也在不斷改進。但是，關於這方面的技術文獻，目前能夠見之于中外刊物上的還很少，而且其中大多數只介紹技術特性，對於工作原理則沒有講解或講解不多，往往實際參考價值不大。像本書這樣，比較系統地專門介紹幾種晶體管參數自動測試方法的書，則更不多見。

本書是蘇聯拉脫維亞科學院電子學與計算技術研究所的論文集“自動化與計算技術”。全書共包括 15 篇文章。第一至第六篇專講中等功率脈沖晶體管的自動分類方法。其中第一篇相當於緒論，從單位置系統和多位置系統的特點出發，分析了設備的基本問題。以後各篇則分別敘述了容性參數、反向電流漂移及時間特性的測量方法。第八至第十三篇描述了小功率晶體管的壽命試驗台。該試驗台可同時容納 100000 只晶體管作壽命試驗，並可對晶體管的參數  $I_{K0}$ 、 $\beta$  及  $1 - \alpha$  進行自動測試。測量是採用脈沖計數法，因此準確度較高。文中對測量原理敘述得頗為清晰，並附有詳細的電路原理圖。

其餘三篇討論了隧道二極管直流參數及小功率晶體管極限振蕩頻率的測量方法，以及高壓整流二極管反向击穿電壓的自動測定方法。這些方法都可很容易地用於自動測量綫中。

隨着我國半導體器件生產的不斷發展，對於測試設備自動化的要求日益迫切，因此譯出本書，希望對於正在從事這項工作的工程技術人員有所幫助。

1965.11

# 目 录

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 中功率脉冲晶体管自动分类机 .....                                           | 5   |
| 晶体管集电极电容 $C_K$ 和集电极-基极迴路时间常数 $r_0 C_K$<br>的高稳定性晶体管化测量电路 ..... | 16  |
| 半导体结反向电流漂移的测量 .....                                           | 26  |
| 晶体管脉冲状态放大系数 $B_{HMH}$ 的自动测量 .....                             | 38  |
| 脉冲晶体管时间特性的测量 .....                                            | 51  |
| 中功率脉冲晶体管寿命试验自动参数测量仪 .....                                     | 60  |
| 隧道二极管直流参数的直接测量方法 .....                                        | 71  |
| 小功率 p-n-p 晶体管寿命试验台 .....                                      | 89  |
| 小功率 p-n-p 晶体管寿命试验台的供电系统 .....                                 | 95  |
| 晶体管连接到自动参数测量部件的转换器 .....                                      | 106 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $I_{K0}$ 的自动测量 .....                            | 114 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $\beta$ 参数的自动测量 .....                           | 126 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $1-\alpha$ 参数的自动测量 .....                        | 132 |
| 小功率晶体管极限振荡频率分类仪 .....                                         | 145 |
| 高压整流二极管击穿电压的自动测定 .....                                        | 149 |

# 半导体器件参数测试自动化

〔苏联〕Ю. С. 卡尔普 主编

蔡连超 程文霖 译



国防工业出版社

## 內 容 簡 介

本书对几种半导体器件参数的自动测试方法和自动测试设备进行了比较详细的描述。描述的设备中包括中功率脉冲晶体管的自动分类机和可容纳100000只晶体管的小功率晶体管寿命试验台。此外，书中还讨论了隧道二极管直流参数、小功率晶体管极限振荡频率和高压整流二极管击穿电压的自动测试方法等。

本书可供从事半导体器件测试工作和生产半导体器件测试设备的技术人员阅读，也适于高等学校和中等专业学校有关专业的师生参考。

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

〔苏联〕Ю. С. Карп 主编

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК  
ЛАТВИЙСКОЙ ССР

## 半导体器件参数测试自动化

蔡連超 程文霖 譯

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092  $1/32$  印張 5  $1/4$  112 千字

1966年5月第一版 1966年5月第一次印刷 印数：0,001—4,750册

統一书号：15034·1130 定价：(科六)0.65元

## 譯 者 序

現代無線電元件的生產，從整個工藝過程到最後的成品分類，都在向自動化的方向發展。晶體管的自動分選設備，作為晶體管自動生產綫中的組成設備之一，或者作為獨立的測試設備，在國外已經使用得相當普遍。測試速度、工作範圍和測試準確度等性能方面也在不斷改進。但是，關於這方面的技術文獻，目前能夠見之于中外刊物上的還很少，而且其中大多數只介紹技術特性，對於工作原理則沒有講解或講解不多，往往實際參考價值不大。像本書這樣，比較系統地專門介紹幾種晶體管參數自動測試方法的書，則更不多見。

本書是蘇聯拉脫維亞科學院電子學與計算技術研究所的論文集“自動化與計算技術”。全書共包括 15 篇文章。第一至第六篇專講中等功率脈沖晶體管的自動分類方法。其中第一篇相當於緒論，從單位置系統和多位置系統的特點出發，分析了設備的基本問題。以後各篇則分別敘述了容性參數、反向電流漂移及時間特性的測量方法。第八至第十三篇描述了小功率晶體管的壽命試驗台。該試驗台可同時容納 100000 只晶體管作壽命試驗，並可對晶體管的參數  $I_{K0}$ 、 $\beta$  及  $1 - \alpha$  進行自動測試。測量是採用脈沖計數法，因此準確度較高。文中對測量原理敘述得頗為清晰，並附有詳細的電路原理圖。

其餘三篇討論了隧道二極管直流參數及小功率晶體管極限振蕩頻率的測量方法，以及高壓整流二極管反向擊穿電壓的自動測定方法。這些方法都可很容易地用於自動測量綫中。

隨着我國半導體器件生產的不斷發展，對於測試設備自動化的要求日益迫切，因此譯出本書，希望對於正在從事這項工作的工程技術人員有所幫助。

1965.11

# 目 录

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 中功率脉冲晶体管自动分类机 .....                                           | 5   |
| 晶体管集电极电容 $C_K$ 和集电极-基极迴路时间常数 $r_0 C_K$<br>的高稳定性晶体管化测量电路 ..... | 16  |
| 半导体结反向电流漂移的测量 .....                                           | 26  |
| 晶体管脉冲状态放大系数 $B_{HMH}$ 的自动测量 .....                             | 38  |
| 脉冲晶体管时间特性的测量 .....                                            | 51  |
| 中功率脉冲晶体管寿命试验自动参数测量仪 .....                                     | 60  |
| 隧道二极管直流参数的直接测量方法 .....                                        | 71  |
| 小功率 p-n-p 晶体管寿命试验台 .....                                      | 89  |
| 小功率 p-n-p 晶体管寿命试验台的供电系统 .....                                 | 95  |
| 晶体管连接到自动参数测量部件的转换器 .....                                      | 106 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $I_{K0}$ 的自动测量 .....                            | 114 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $\beta$ 参数的自动测量 .....                           | 126 |
| 小功率 p-n-p 晶体管 $1-\alpha$ 参数的自动测量 .....                        | 132 |
| 小功率晶体管极限振荡频率分类仪 .....                                         | 145 |
| 高压整流二极管击穿电压的自动测定 .....                                        | 149 |

# 中功率脉冲晶体管自动分类机

Ю. С. 卡尔普

本文叙述了晶体管自动分类机的研制方法，并对中等功率脉冲晶体管的测试装置进行了描述。全部测试单元均系由半导体器件装配成的。

生产率——500 个/小时。

现代工业正在大量地生产半导体器件。借助试验台对半导体器件进行检验和分类，需要花费巨大的劳动力，测试地段占很大面积，而测试的结果未必有足够的客观性。本研究的目的，是根据技术要求所给定的全部参数来研制晶体管自动分类的方法和装置。由于晶体管的型号极多，且不同型号的参数又各不相同，因而决定研究典型的测试方法、测试原理及测试电路的基本单元，以使能够在不同的组合下用来解决生产上的具体问题。这个方法在机床制造业中被命名为“组合设计法”。下面对一组晶体管——中等功率脉冲晶体管的自动分类问题提出了具体的解决办法。这样的选择能够广泛地包括各方面的问题，并对所提出的课题求得最简易的解答。

设计中的第一个问题，是选择测试系统——多位系统或者单位系统。多位系统是在每个测试位置上，同时测试被测参数中的一个参数。并将被测管顺序地移动到下一个位置上去；单位系统是将一个被测管依次接入各个不同的测试电路。

我们从生产率、可靠性和复杂性，以及成本、制造和调试期限上考虑，对每一个系统的优缺点作了分析。

因为测试时间较短，所以多位装置的生产率取决于被测晶体管的上料和向测试位置输送的可能速度。晶体管以手工上料时，一个循环的周期可能约为 5 秒，因为晶体管的软引线送入收料装置需要经过矫正和定位。

测试过程可能达到的速度受到测试和逻辑电路输出端的执行装置（电磁继电器和电磁铁）的起动速度的限制。一般说来，这个时间为 20~100 毫秒。因此，如果每个位置上的取样次数为 1 的话，在手工上料时测试过程只占一个循环周期的 2%。此外，确定最后分类的存储器的容量应包括与晶体管测试位置数相等的通路数及与分类数相等的存储量的组合数。此时，每个通路中的分类数必须等于测试位置数，即通路数。因此，如果按“合格-不合格”原理来分类，而取样次数等于被测参数数量及其分类数，则测试位置数，亦即存储器的通路数应为：

$$n = a_1 + a_2 + \dots + a_k = px,$$

式中  $a_k$ ——第  $k$  个参数的取样次数；

$p$ ——参数数量；

$x$ ——平均取样次数；

$n$ ——存储器的通路数。

存储单元的数量相应地为：

$$K = n^2 c,$$

式中  $K$ ——存储单元数；

$c$ ——分类数。

如果考虑到被测参数平均为 10~12 个，所需的取样次数平均为 2，分类数为 4 到 6~7，则存储单元的数量将很庞大，达到 2~3 千个。对于一些在回答“不合格”时就表明晶体

管已經完全是廢品，因而應該停止進行測試的那些項目，減除存貯器的通路，可以使解決辦法簡化。在這種情況下，可使存貯器的容量縮減到 100~200 個單元，但此時系統因在其他組合中存貯容量不足而可能失去通用性。除上述外，必須考慮到測試位置多會使晶體管的連接和移動機構複雜化。這就使設備的成本提高和可靠性降低。

測量時間可通過把同一種測試工序中的全部測試或幾種同一類型測試中的全部測試，放在一個測試位置上同時進行而得到充分地利用。全部測試種類可分為 5~6 種，所以設備也只需 5 或 6 個測試位置。這種方法使部件間的轉換有所複雜，可是由於傳動機構簡化、測試部件數量減少和存貯系統簡化，卻大大地縮小了設備的總體積。存貯單元的數量可縮減到 15~20 個，測試部件的線路複雜程度相對地講則增加很少，因為可以多次地利用同一個測試部件：振蕩器、比較線路、指示器、電源等。此時，在一個位置上測試所需的時間相應地增加到 0.5~1 秒。

運送時間可能約為 0.3~0.5 秒，因此一個循環周期的總時間可為 1~1.5 秒。由此可見，多位測試線路只是在具有機械化上料（速度為 1~1.5 個/秒）時才是合理的。

當採用單位測試系統時，如果各測試線路的測試速度與前者相同（50~100 毫秒），轉換時間也大致與此相同，且被測參數的數量也一樣多，則全部測試時間為 4~5 秒。在這種情況下，傳動系統是最簡單的，存貯單元被減少到 1 個，同時，重複運用同一種測試部件和電源的可能性更大了。

應該着重提出，通過運用比較快速的執行裝置和轉換裝置，使單位系統的測試速度提高數倍，在原則上是會有太

大困难的。测试总时间可能达到 0.5~1 秒,因而完全可以满足当前工业上所提出的要求。

当前,以 5 个/秒的测试速度,用于中功率晶体管中是十分满意的,因此,采用具有一般的电磁式执行装置和转换装置的单位测试线路是合适的。

研制和使用这样的设备,能够积累必要的经验,掌握自动测试的新的原理和方法,以便将来制造更快速的设备。

如上述指出,在多位测试系统中,将被测值相近的工序分组并入到一个通用的测试部件中去是合理的。而在单位系统中,划分这种组别同样也是合理的,同时还要研究出典型的测试方法,以便不仅在一个测试组内,而要在几个测试组内重复地运用同一种部件。如果这种情况未必能够实现,则可以适当地使用最简易的变换器,例如,可以把全部测试过程中的输出信号变为相同的“标准”输出信号。

对于中功率脉冲晶体管来说,将被测参数分为下列几组是合理的:

1. 高频参数和容性参数 ( $B_f$ ;  $C_K$  和  $\tau_{r/6c_K}$ )。
2. 晶体管结的反向电流和起始电流 ( $I_{KO}$ ,  $I_{BO}$ ,  $I_{KH}$ )。
3. 脉冲参数:
  - a. 稳定放大电压 ( $U_{a \leq 1}$ );
  - б. 脉冲状态放大系数 ( $B_{HMM}$ );
  - в. 时间特性和饱和电压 ( $\tau_H$ ,  $\tau_P$  和  $U_{HAC}$ )。

这些组中的每一组的测试器可制成完全独立的单元,这些单元既适用于多位测试装置,也可以作为每一测试组的单独的分类器。

高频参数分类器在 Г. Г. 哈鲁林的著作<sup>[1]</sup>中有所描述。

在 Ю. С. 卡尔普和 B. A. 彼里别柯的著作<sup>[2]</sup>中给出结的反向电流及其漂移的分类方法。可是, 反向电流漂移的测量, 工艺上需要保持一段时间 (达 40~60 秒), 以致在任何一个测试系统中都会使设备大大复杂起来。因此, 在一般分类设备中, 最好利用简化的限制最大可能电压的《固定电流》法, 根据“合格-不合格”原理来检验这一参数的绝对值 (图 1)。

晶体管的脉冲状态放大系数  $B_{\text{HMH}}$  的测量和分类, 在 Ю. С. 卡尔普和 Л. Н. 李弗希茨<sup>[3]</sup>及 A. H. 普罗霍罗夫的著作<sup>[4]</sup>中作了描述。

无示波器测试脉冲参数的方法是特别值得注意的。

在文献<sup>[5]</sup>中描述了按时间特性和饱和电压对晶体管进行分类的方法。根据《稳定放大电压》 $U_{a \leq 1}$ , 也即根据集电极电源极限允许电压 (此时  $\alpha < 1$ ) 对晶体管的测试和分类, 要根据图 2 所示的方框图进行。

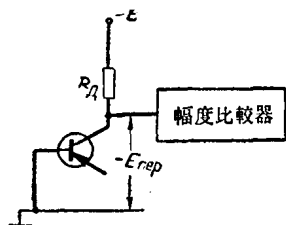


图 1 利用《固定电流》法的测量线路图。  $E \gg E_{\text{пер}}$ ,

$$I = \frac{E - E_{\text{пер}}}{R_K} = \text{const.}$$

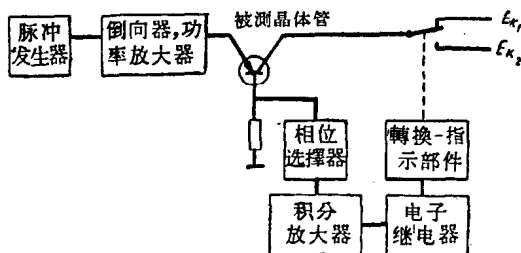


图 2  $U_{a \leq 1}$  分类器方框图

脉冲状态下的放大稳定性是将晶体管接成共基极线路，根据基极电流脉冲的相位进行检验的。当  $\alpha > 1$  时，基极电流脉冲的相位与发射极输入脉冲反相（成  $180^\circ$ ），而当  $\alpha = 1$  时（开始出现不稳定）基极没有脉冲，由此，可以确定工作的不稳定性。

这个测试工序自动化的主要技术上的复杂性，是在于信号幅度极小，而发射结电容的存在，使电容  $C_{e-6}$  和电阻  $R_6$  上由于输入脉冲被微分而产生两种极性的尖峰。采用相位选择器和积分放大器可以比较简易地解决这一课题。

脉冲发生器和电子继电器是标准的，它们与上面提到的著作<sup>[3,5]</sup>中所描述的相似。为了变换激励脉冲的相位，采用了一种共发射极接法的晶体管倒相器，如图4所示。继电器部分在集电极电源给定的一系列电压下，能保证对稳定放大进行连续地测试。在该集电极电压下所获得的《合格》信号，就作为下一个测试的指令。相位选择器和脉冲放大器是这一单元中最特殊的部分。选择的复杂性在于脉冲幅度可能极小，因为

$$U_{\text{нмп } \sigma} = I_6 R_6 = \frac{I_K}{B_{\text{нмп}}} R_6 = \frac{I_9 R_6}{B_{\text{нмп}}}.$$

当  $E_K$  的值接近于临界值时， $B_{\text{нмп}}$  值开始急剧地增加（见图3），并在临界点逼近于无限大（ $\alpha = 1$ ）。因为良好的晶体管在正常的工作状态下， $B_{\text{нмп}}$  值应该小于200，所以  $B_{\text{нмп}}$  值成10倍的增加，就明显地证明晶体管已经过渡到了不稳定的工作状态。稳定

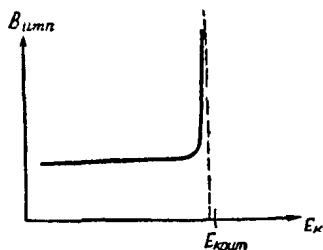


图3  $B_{\text{нмп}}$  与  $E_K$  的典型关系曲线

性的测量应该在  $B_{\text{HMH}}$  值最大的电流状态下进行。这一数值在中功率晶体管內約为  $0.3 \sim 0.5$  安培。基极电阻应选择得足够小，以便当流过大的基极电流脉冲时，在电阻上不至于产生大的压降，因为这能使测试结果失真。通常，这个电阻值在晶体管的技术数据中规定，約为  $50 \sim 100$  欧。

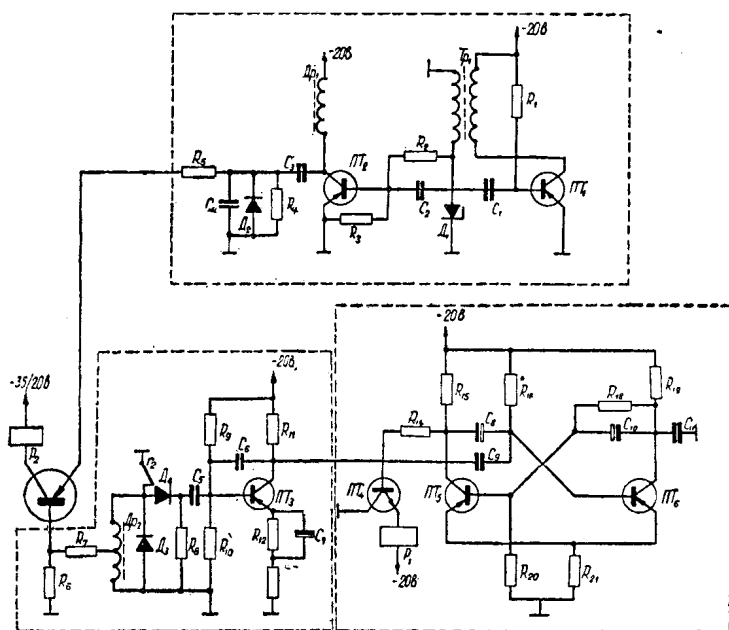


图 4  $U_{a \leq 1}$  分类器线路图

此时，最小脉冲应规定为：

$$U_{\text{HMH } 6 \text{ min}} = \frac{I_b R_6}{B_{\text{HMH max}}} = \frac{0.3 \times 100}{2000} \approx 15 \times 10^{-3} \text{ 伏。}$$

这类脉冲相位的鉴别，一方面，是简便的，在相位翻转  $180^\circ$  时只需区分出“+”或“-”；而另一方面，在这样小

的幅度之下,二极管的特性是平方律的,因此在沒有前置放大器的情况下作出正确的鉴别是不可能的。在鉴别器前引入一个交流放大器是不需要的,因为这可能产生微分,而使讀数失真。由于有零点漂移,使用直流放大器同样也不需要,而且还会造成誤差。要把信号幅度放大到 70~100 毫伏,最简单的方法是用脉冲自耦变压器。为了消除产生微分的可能性,使用了二极管来分隔和限制反向脉冲的振幅,如图 4 中的  $\mathcal{A}_3$ ,  $\mathcal{A}_4$ ,  $R_7$  所示。

这样,在上面所指出的文献和关于测试  $U_a$  的叙述中,对测试设备的所有主要部件已作了討論。根据上述可以看出,这些主要部件既适用于独立的工作,也能用于多位系統的工作。在单位测试綫路中,大部分的部件是能够統一起来的。 $B_{\text{HMH}}$  值和时间特性的单位位置分类器,即在文献[3]和[5]中所描述的由几个部件联接构成的分类器,可作为一个实例。該裝置的方框图及原理图如图 5 和图 6 所示。在这里,全部所需要的

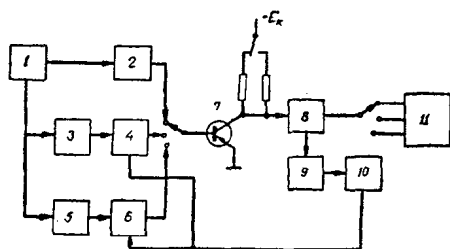


图 5  $B_{\text{HMH}}$  和时间特性分类器方框图

- 1—主控脉冲发生器; 2—确定  $B_{\text{HMH}}$  类别的脉冲分流器;  
 3—测试  $\tau_{\text{H}}$  的試驗脉冲形成器; 4—脉冲分流器; 5—测试  $\tau_{\text{H}}$  的形成試驗脉冲的間歇振荡器; 6—分流器; 7—被  
 試晶体管; 8—比較电路; 9—电子继电器; 10—轉換-指  
 示部分; 11—基准电压源。

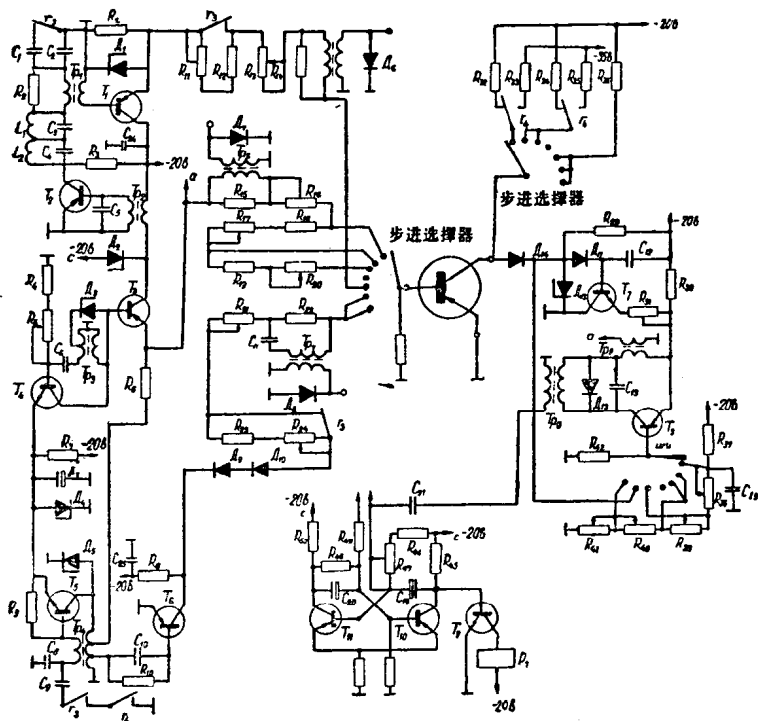


图 6  $B_{\text{нмп}}$  和  $\tau$  分类器原理图

轉換由一个步进制选择器和三个继电器来保証。从所示的綫路中可看出， $B_{\text{нмп}}$  的类别是靠連續取样和选择被試晶体管輸出脉冲幅度的方法来測定的。 $B_{\text{нмп}}$  測試的結束是借助一个時間选择系統自动定出的，也即在給定的間隔時間內如无《合格》信号，則会轉为下个参数的測試。此时，可根据  $B_{\text{нмп}}$  类别所規定的各規範进行檢驗。这种轉換由《存貯机构》(继电器  $P_3$  的触点) 来实现。在这种情况下，可規定下列界限：